



# MenSe-raivauspäällä varustetulla metsäkoneella toteutetun koneellisen taimikonhoidon työnjälki ja puuntuotannolliset vaikutukset varttuneessa taimikossa

Metsävaratieteen ja -teknologian pro gradu -tutkielma  
maatalous- ja metsätieteiden maisterin tutkintoa varten

Helsingin yliopisto, metsätieteiden laitos  
syyskuu 2011

Paula Kallioniemi

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty		Laitos — Institution — Department	
Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Metsätieteiden laitos	
Tekijä — Författare — Author			
Paula Kaarina Kallioniemi			
Työn nimi — Arbetets titel — Title			
MenSe-raivauspäällä varustetulla metsäkoneella toteutetun koneellisen taimikonhoidon työnjälki ja puuntuotannolliset vaikutukset varttuneessa taimikossa			
Oppiaine — Läroämne — Subject			
Metsäteknologia			
Työn laji — Arbetets art — Level		Aika — Datum — Month and year	
Pro gradu -tutkielma		Syyskuu 2011	
		Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages	
		80 + liitteet	
Tiivistelmä — Referat — Abstract			
<p>Taimikonhoito on talousmetsän kehityksen kannalta oleellisen tärkeä puuntuotantoketjun vaihe, joka nykyään usein viivästyy tai jää jopa tekemättä. Syynä tähän ovat mm. korkeat kustannukset ja työvoiman saatavuusongelmat. Koneelliseen taimikonhoitoon tarvitaan tarkoitukseen suunnitellut laitteet ja sopiva kalusto, joten sen käyttö painottuu suurehkoille taimikonhoitokohteille. Taimikonhoito toteutetaan nykyään enimmäkseen metsurin tekemänä raivaussahatyönä, sillä koneellinen taimikonhoito on toistaiseksi manuaalista perkausta ja harvennusta kalliimpaa.</p> <p>Koneellisessa taimikonhoidossa metsikköön on avattava ajourat, jotka vähentävät kasvatettavan puuston määrää. Koneellisen taimikonhoidon yhteydessä puihin syntyy yleensä runko- ja juurivaurioita ja lisäksi voi syntyä maastovaurioita. Sekä ajourat että puustovauriot pienentävät metsän kiertäjien aikaista puuntuotosta. Ajourien negatiivista vaikutusta puuntuotokseen ja koneellisessa taimikonhoidossa syntyviä vaurioita on pyrittävä vähentämään koneellista taimikonhoitoa kehitettäessä. Tarve kehittää koneellista taimikonhoitoa ja erityisesti sen kannattavuutta on suuri, sillä alaa uhkaa paheneva työvoimapula.</p> <p>Tässä tutkimuksessa selvitettiin MenSe-raivauspäällä varustetulla metsäkoneella suoritettua koneellisen taimikonhoidon aiheuttamia runkovaurioita ja puuntuotannollisia vaikutuksia varttuneessa taimikossa. Painopiste oli ajourien ja vaurioiden tutkimisessa. Maastomittausten perusteella saatujen tulosten lisäksi koneellisen taimikonhoidon puuntuotannollisia vaikutuksia selvitettiin kirjallisuustutkimuksella. Ajourien vaikutus metsän tulevaan puuntuotantoketjuun vaatii lisätutkimuksia.</p> <p>Tutkimuksessa havaittiin, että koneellisessa taimikonhoidossa syntyvät ajourat vähensivät metsän puuntuotannollista pinta-alaa noin 10 %. Keskimäärin 5 %:lle jäävästä puustosta syntyi runkovaurioita koneellisen taimikonhoidon yhteydessä. Kasvatettavien puiden ympärille jäi poistamatta kasvua haittaavia puita keskimäärin 250 kpl/ha. Turhaan poistettuja kasvatuskelpoisia puita oli noin 90 kpl/ha. Käyttöajanmenekin keskiarvo oli 8,4 h/ha ja käyttötuntituotoksen 0,12 ha kaikilla työmailla. Kuljettajien välillä oli huomattavia eroja sekä ajankäytössä että työnjäljessä. Kuljettajien koulutukseen, ohjeistamiseen, valvontaan ja motivointiin kannattaa kiinnittää huomiota.</p> <p>Koneellisten taimikonhoitokoneiden kustannustehokkuuden ja työnjäljen kehittäminen on haastavaa, sillä olosuhteet varttuneen taimikon hoidossa ovat usein hankalat sekä kuljettajaa että metsäkoneen ominaisuuksia ajatellen. Jatkossa kannattaa tutkia myös uusia metsänkasvatusketjun vaihtoehtoja, esimerkiksi onko mahdollista jättää varsinainen taimikonhoito kokonaan tekemättä kitkevällä perkauskoneella suoritettua varhaisperkauksen jälkeen, jolloin seuraava toimenpide metsikössä olisi energiapuuhakkuu tai ensiharvennus.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords			
Ajourat, koneellistaminen, perkaus, puustovauriot, taimikonhoito			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited			
Metsätieteiden laitos, Viikin tiedekirjasto			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information			
Ohjaajat: Esko Mikkonen, metsätieteiden laitos ja Jyri Schildt, UPM Metsä			

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty <b>Faculty of Agriculture and Forestry</b>		Laitos — Institution — Department <b>Department of Forest Sciences</b>	
Tekijä — Författare — Author <b>Paula Kaarina Kallioniemi</b>			
Työn nimi — Arbetets titel — Title <b>Mechanized pre-commercial thinning with MenSe-clearing head – work quality and effects on wood production</b>			
Oppiaine — Läroämne — Subject <b>Forest Technology</b>			
Työn laji — Arbetets art — Level <b>Master's thesis</b>		Aika — Datum — Month and year <b>September 2011</b>	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages <b>80 + appendices</b>
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>Tending of seedling stands and improvement of young stands are important steps in wood production, but they are often postponed or even neglected primarily due to high expenses and poor availability of labour. Machine tending of young stands requires special equipment and appropriately suited devices, restricting the method's feasibility to larger stands. For the present, clearing and thinning of young stands is mainly accomplished manually using a clearing saw due to lower cost of manual work compared with machine tending.</p> <p>Mechanized pre-commercial thinning further requires that strip roads must be opened, which will reduce the number of growing trees, resulting in diminished area for wood production. Trunk and root damages are a frequent phenomenon and furthermore the terrain can sustain damage. Damages in standing crop and soil can reduce timber output during forest rotation time. The negative contribution of strip roads on timber output and poor forest health should be countered in developing machine tending. The need for the development of machine tending and its benefits increases with receding availability of labour.</p> <p>This study focuses on the influence on timber production and trunk damages by a forestry vehicle equipped with a MenSe clearing head. The emphasis lies on examining strip roads and damages in young stands. In addition to conclusions from forest measurements, literature search was applied in studying the effects of machine tending on timber output. The corollary influence of strip roads on future timber output requires further research.</p> <p>The study observes a 10 % decrease in surface area resulting from laying strip roads for mechanized pre-commercial thinning. Trunk damages were present on average in 5 % of the remaining trees. Growth impeding trees surrounding growing trees amounted to 250 trees per hectare and needlessly removed trees about 90 per hectare. The consumption of working time averaged 8,4 hours per hectare and hourly output 0,12 hectare on all sites. Nonnegligent divergencies in drivers regarding efficiency and procedure were observed. Attending to the education, motivation, advisement and supervision of the driver will be worthwhile in the future.</p> <p>Circumstances surrounding both the driver and the forest machine present a challenge in developing the cost-efficiency and labour resultant of mechanized pre-commercial thinning. In the future more alternatives for wood production chain should be considered for research, for instance the possibility of entirely abandoning pre-commercial thinning after the preliminary cleaning of seedling stands with an uprooter, subsequently leading to energy wood thinning or first thinning.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords <b>Mechanical, mechanized, pre-commercial thinning, silviculture, strip roads, tree damage</b>			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited <b>Viikki Science Library, Department of Forest Sciences</b>			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information <b>Supervisors: Esko Mikkonen, Dpt of Forest Sciences and Jyri Schildt, UPM Forest</b>			

## Alkusanat

Tämä opinnäytetyö on tehty Helsingin yliopiston metsäteknologian laitokselle UPM konsernin Metsä ja sahat -liiketoiminta-alueen toimeksiannosta. Yhteistyökumppanina tutkimuksen suorittamisessa toimi Metsäteho Oy.

Tutkimustyön ohjaajina toimivat Helsingin yliopiston metsätieteiden laitoksen johtaja, metsäteknologian professori Esko Mikkonen ja metsänhoitopäällikkö Jyri Schildt UPM konsernin Metsä ja sahat -liiketoiminta-alueelta. Metsäteho Oy:ssä tutkimuksen suunnitteluun ja järjestelyihin sekä työn ohjaamiseen osallistuivat tutkija Markus Strandström ja erikoistutkija Asko Poikela.

Kiitän lämpimästi Jyri Schildtiä mielenkiintoisesta tutkimusaiheesta, opastuksesta ja tutkimusaineiston keruuseen liittyvien maastokoealamittausten rahoituksesta sekä kärsivällisyydestä työn valmistumisen suhteen. Suurimmat kiitokseni Markus Strandströmille ja Asko Poikelalle, sillä ilman heidän arvokasta apuaan ja ohjaustaan työni tuskin olisi nyt valmis. Lisäksi kiitän neuvoista, palautteesta, kärsivällisyydestä ja joustavuudesta prof. Esko Mikkosta, jonka ansiosta myös löysin tämän tutkimusaiheen. Metsätehon systeemisuunnittelija Sirkka Keskistä kiitän ohjeista aineiston käsittelyssä. Erityiset kiitokseni metsätieteiden laitoksen Graduklinikan ohjaajille – Elina Kokkoselle neuvoista aineiston tilastollisessa käsittelyssä, Leena Suomiselle ohjeista tutkimuksen kirjoittamiseen liittyen sekä Outi Valkamalle teknisistä vinkeistä.

Lämpimät kiitokseni rakkaalle avopuolisolleni Olli Perälälle arvokkaasta tuesta ja avusta teknisten ja matemaattisten ongelmien ratkaisussa sekä huomattavan pitkästä pinnasta. Suuret kiitokset myös äidilleni Leilalle ja kaikille ystävilleni kallisarvoisesta henkisestä tuesta ja kärsivällisyydestä tämän tutkimustyön valmistumisen aikana.

Erityiskiitokset annan lopuksi koulutus- ja kehittämiskeskus Palmenian erikoissuunnittelija Päivi Horellille, sillä ilman hänen kurssilleen pääsyä tuskin olisin tähän työhön edes ryhtynyt, sekä ”10-kurssin” osallistujille, uusille upeille ystävilleni, jotka ovat tuellaan ja kannustuksellaan suuresti helpottaneet tutkimustyöhön liittyvää luomisen tuskaa.

Omistan tämän työn v. 2010 edesmenneelle isälleni Pekalle.

Helsingissä syyskuussa 2011

Paula Kallioniemi

## Sisällys

1	Johdanto .....	7
1.1	Yleistä.....	7
1.2	Tutkimuksen taustaa.....	8
2	Kirjallisuustutkimus.....	9
2.1	Käsitteitä.....	9
2.1.1	Taimikonhoitoon liittyvää termistöä.....	11
2.1.2	Ajouriin liittyvää termistöä .....	13
2.2	MenSe-raivauspäät RP 80 ja RP 40 .....	14
2.3	Ajouran puuntuotannolliset vaikutukset.....	15
2.3.1	Yleistä .....	15
2.3.2	Ajouran leveyden määrittäminen .....	18
2.4	Korjuujälki ja vauriot .....	22
2.5	Koneellisen taimikonhoidon tuottavuus ja kustannukset .....	24
2.6	Taimikonhoidon ajoitus.....	27
3	Tutkimuksen tavoite.....	29
4	Aineisto ja menetelmät .....	30
4.1	Aineisto .....	30
4.2	Aineiston kerääminen ja mittausmenetelmät .....	34
4.2.1	Maastomittausten suoritus .....	34
4.2.2	Tutkimuksessa käytetyt maastolomakkeet.....	35
4.2.3	Maastomittauksissa käytetty välineistö.....	39
4.2.4	Aikatutkimus ja GPS-paikannus .....	39
4.3	Aineiston käsittely ja tilastollinen testaus .....	40
4.3.1	Maastokoealat .....	40
4.3.2	Aikatutkimus ja GPS-paikannus .....	40
4.3.3	Ajourien ja puustovaurioiden välinen yhteys .....	42
4.3.4	Tutkimuksessa käytetyt ohjelmat ja aineiston tilastollinen testaus.....	44
5	Tulokset.....	44
5.1	Ajourat.....	44
5.2	Kahden eri tutkimusaineiston ajouratietojen yhdistäminen .....	46
5.3	Tiheysluokan ja vaurioprocentin yhteys.....	47
5.4	Segmenttikorjatut koealojen pinta-alat.....	48
5.5	Puustovauriot.....	49
5.6	Puuston tilajärjestys.....	53
5.7	Jäävän puuston puulajijakauma.....	55
5.8	Koneyksiköiden tuottavuus .....	57

6	Tulosten tarkastelu .....	59
6.1	Tutkimusaineiston määrä .....	59
6.2	Mittausmenetelmien arviointi .....	59
6.3	Puuntuotannolliset vaikutukset .....	62
6.4	Taimikonhoidon työnjälki .....	63
6.4.1	Ajourat .....	63
6.4.2	Vauriot .....	64
6.4.3	Kuljettajien väliset erot .....	65
6.4.4	Koneyksiköiden väliset erot .....	66
6.4.5	Tilajärjestys ja puulajijakauma .....	66
6.5	Koneellisen taimikonhoidon työjäljen laatu .....	67
6.6	Kustannustehokkuus .....	68
6.7	Aikataulun vaikutus .....	68
7	Johtopäätökset .....	69
7.1	Tutkimuksen tavoitteiden toteutuminen .....	69
7.2	Päätelmiä .....	70
8	Jatkotutkimusaiheita ja tulevaisuuden visioita .....	71
8.1	Puustovaurioiden vaikutus metsän tulevaan tukkipuutuotoon .....	71
8.2	Taimikonhoidossa avattujen ajourien käyttö ensiharvennuksessa .....	71
8.3	Tekninen kehitys .....	72
8.4	Metsäkoneenkuljettajat .....	73
8.5	Metsänomistajat .....	74
8.6	Taimikonhoitoketjun lyhentäminen .....	75
9	Lähteet .....	77
10	Liitteet .....	81
	LIITE 1. Maastotietolomake, puustotiedot .....	81
	LIITE 2. Maastotietolomake, poistumatiedot .....	81
	LIITE 3. Maastotietolomake, ajourat .....	82
	LIITE 4. Kuvia koealoilta .....	83
	LIITE 5. Taulukko: Ajouraleveydet ja -välit .....	84
	LIITE 6. Taulukko: Puustovauriot .....	85
	LIITE 7. Tilastollisia tunnuslukuja .....	85

# 1 Johdanto

## 1.1 Yleistä

Huolellinen ja oikeaan aikaan toteutettu taimikonhoito antaa edellytykset tuottavan ja terveen metsikön kasvulle. Riittämätön taimikonhoito on kuitenkin yleistä etenkin yksityismetsätaloudessa. Viivästyneen tai kokonaan tekemättä jääneen taimikonhoidon aiheuttamat haitat ja taloudelliset menetykset ovat merkittäviä yksityiselle metsänomistajalle ja koko kansantaloudelle. Haitalliset vaikutukset kestävät puuston koko kiertoajan. Taimikonhoidon edistäminen on yksi tehokkaimmista keinoista parantaa puuntuotannon kannattavuutta. (Tanttu ja Mutikainen 2010)

Yksi syy taimikonhoidon lisääntyneeseen viivästy miseen tai laiminlyöntiin on metsurien määrän jyrkkä väheneminen. Ammatissa toimiva väestö ikääntyy, eikä ala houkuttele nuoria. Samaan aikaan metsänhoitotöitä omatoimisesti tehneiden tilalla asuvien metsänomistajien työn osuus vähenee. (Immonen 2003)

Valtakunnan metsien 10. inventoinnin (VMI10) vuosien 2004–2008 mittausaineistoihin perustuvien tulosten mukaan Suomessa ollaan siirtymässä hyvästä tyydyttävään metsanhoidon tasoon metsänuudistamisessa, koska laadultaan hyvien taimikoiden osuus on pienentynyt VMI9:n 39 %:sta 30 %:iin ja vastaavasti tyydyttävien ja välttävien osuus on kasvanut 56 %:sta 65 %:iin. Hoitamattomuus on laadun alentumisen syynä 11 %:lla koko maan taimikoista. Myöhässä olevaa taimikonhoitotarvetta on pienissä taimikoissa 55 000 ha, varttuneissa 250 000 ha ja nuorissa kasvatusmetsissä 388 000 ha. Inventointia edeltäneellä 10-vuotiskaudella taimikonhoitoa on tehty keskimäärin 164 000 ha/v ja seuraavan 10-vuotiskauden aikana hoitotarve tulee olemaan yli 200 000 ha/v. Tämä edellyttää taimikonhoidon tuntuvaa lisäämistä. (Korhonen ym. 2010)

Kansallisessa metsäohjelmassa (KMO 2015) halutaan merkittävästi lisätä panostusta metsänkasvatuksen alkuvaiheiden turvaamiseen. Tämä edellyttää taimikon varhaishoitolle asettavien määrätavoitteiden selvittämistä ja niiden saavuttamisen edistämistä neuvonnan ja koulutuksen avulla. KMO:n tavoitteena on lisäksi koneellisten metsänkäsittelymenetelmien kehittäminen ja niiden käyttöönoton edistäminen. Puunkorjuun koneellistamisaste on nykyään lähes 100 %, mutta koneellisen taimikonhoitotyön osuu-

den on arvioitu olevan vain alle 1 % koko taimikonhoitoalasta. Erityisesti varsinaisen taimikonhoidon eli varttuneen taimikon perkauksen ja harvennuksen koneellistaminen etenee hitaasti. Työlle asetettavien laatu- ja kustannusvaatimusten vuoksi taimikonhoito koetaan koneellistamisen kannalta erittäin vaikeaksi työajiksi. (Tanttu ja Mutikainen 2010) Ylimartimon ja Heikkilän (2003) mukaan kuitenkin noin 68 % ja Strandströmin (2009) mukaan jopa 90 % kaikista taimikonhoitotöistä voisi olla nykytekniikalla koneellistettavissa. Metsätehon Metsänhoidon koneellistaminen Visio ja T&K -ohjelma raportissa asetetaan optimistiseksi tavoitteeksi taimikonhoidon 20 % koneellistamisaste vuoteen 2015 mennessä (Strandström ym. 2009).

Koneellinen varttuneen taimikon perkaus ja harvennus on toistaiseksi metsurin raivaussahalla tekemää taimikonhoitoa kalliimpaa, mutta työvoimaa ei todennäköisesti ole tulevaisuudessa raskaaseen raivaussahalla tehtävään taimikonhoitotyöhön riittävästi saatavilla. Koneellisen taimikonhoidon kustannuksia ja työnjälkeä on tarpeen tutkia, jotta voitaisiin kehittää kustannustehokkaampia ja työnjäljeltään laadukkaampia menetelmiä tuottavan metsän kehityksen kannalta tärkeän taimikonhoidon turvaamiseksi tulevaisuudessakin.

## **1.2 Tutkimuksen taustaa**

Metsäteho Oy:ssä suoritettussa aikaisemmassa tutkimuksessa (Strandström ym. 2010) on selvitetty MenSe-raivauspään käytännön tuottavuutta samoilla koneilla kuin tässäkin tutkimuksessa, mutta koska tutkitut taimikot sijaitsivat tavanomaista hieman harvemmassa taimikossa, tarvittiin lisätutkimuksia puustoltaan tiheimmiltä kohteilta, jotta saataisiin kerättyä monipuolisempi aineisto myös vaikeammissa olosuhteissa suoritettua taimikonhoidosta. Tässä tutkimuksessa haluttiin selvittää erityisesti koneellisessa taimikonhoidossa syntyvien ajourien ja niiden myötä menetetyn puuntuotannollisen pinta-alan määrää, taimikonhoitotyön laatua ja puuston tilajärjestystä taimikonhoidon jälkeen. Tietoa oli tarkoitus kerätä myös tuottavuuslaskelmia varten.

Tässä työssä oli tarkoitus hyödyntää maastomittauksilla kerätyn aineiston lisäksi Metsätehon aiemmassa tutkimuksessa (Strandström 2010) kerättyä aineistoa yhdistämällä molempien tutkimusten aineistoja tulosten laskennassa. Tätä tutkimusta varten kerät-



tyä aineistoa hyödynnettiin lisäksi Metsätehon tutkimuksessa Koneellisen istutuksen ja taimikonhoidon kilpailukyky (Strandström ym. 2011), joka on julkaistu Metsätehon verkkosivuilla Raportti-julkaisusarjassa ja tulosalvosarjana. Lisäksi tämän tutkimuksen tuloksia on tarkoitus esitellä Metsätehon tulosalvosarjassa syksyllä 2011.

## 2 Kirjallisuustutkimus

### 2.1 Käsitteitä

**Puuston valtapituus**, (m) on hehtaarilla sadan paksuimman puun pituuden aritmeettinen keskiarvo, joka yleensä mitataan tai arvioidaan koealalla ja sen välittömässä läheisyydessä olevien paksuimpien puiden pituuksien keskiarvona. (Metsätehon opas 2003)

**Puun rinnankorkeusläpimitta**,  $d_{1,3}$  (cm) on puun läpimitta 1,3 metrin korkeudelta mitattuna. Tässä tutkimuksessa rinnankorkeusmittauksen lähtöpisteenä on käytetty maanpinnan tasoa, mikä kivennäismailla on myös **puun syntypisteen** taso. (Metsätehon opas 2003)

**Puun sijaintipiste** eli **puun syntypiste** on rungon keskiviivan ja maanpinnan tason leikkauspiste. (Isomäki ja Niemistö 1990)

**Keskiläpimitta** (cm) on kasvatettavien puiden rinnankorkeusläpimittojen aritmeettinen keskiarvo, käytännössä usein ympyräkoelan toiseksi suurimman ja toiseksi pienimmän puun läpimittojen keskiarvo (Metsätehon opas 2003). Tässä tutkimuksessa keskiläpimitta ja keskipituus on mitattu koealan mediaanipuusta.

**Mediaanipuu** edustaa alueen keskimääräistä puuta, eli puolet alueen puista on sitä ohuempia ja puolet paksumpia. Tässä tutkimuksessa jokaiselta koealalta on määritetty silmämääräisesti koealan mediaanipuu, jonka pituudesta saadaan koealan keskipituus ja rinnankorkeusläpimitasta koealan keskiläpimitta.

**Runkoluku** (kpl/ha) on kasvatuskelpoisten puiden lukumäärä hehtaarilla ja se määritetään (yleensä) ympyräkoetalta koealavapaa tai muuta etäisyysmittaa käyttäen. Koealan

sisään jäävien puiden lukumäärä muunnetaan runkoluvuksi esim. kertomalla koealan puiden lukumäärä kertoimella 200, kun koealan säde on 3,99 metriä eli koealan koko on  $50 \text{ m}^2$ . (Metsätehon opas 2003)

**Runkovaurio** on puun juurenniskan yläpuolella sijaitseva vaurio. Runko on vaurioitunut, jos sen kuori on rikki nilakerrokseen saakka yhdestä tai useammasta kohdasta yhteensä yli  $12 \text{ cm}^2$ :n laajuudelta ja puuaineen pintaa on samalla paljastunut yli  $1 \text{ cm}^2$  tai siinä on puuaineen rikkonut, ns. syvävaurio (vaurion koosta riippumatta) tai siinä on kuoren rikkonut viilto tai viiltoja, joiden yhteenlaskettu pituus on yli 50 cm. (Metsätehon opas 2003) Tässä tutkimuksessa runkovauriot luokiteltiin **lieviin ja vakaviin vaurioihin**. Lievästi vaurioitunut puu on **kasvatuskelpoinen**, vakavasti vaurioitunut **kasvatuskelvoton**.

**Kasvatuskelpoinen puu** on yleensä kasvatettavaan jaksoon kuuluva elävä puu, jonka läpimitta rinnankorkeudelta on vähintään 70 mm. Tässä tutkimuksessa kasvatuskelpoiseksi luettiin pienemmätkin puut, mikäli ne olivat terveitä ja elinvoimaisia, eivätkä sijainneet 100 cm:ä lähempänä suurempaa kasvatuskelpoista puuta.

**Juurivaurio** on vaurio, joka sijaitsee juurenniskan alapuolella rungossa tai juuressa. Juurissa otetaan huomioon vain vauriot, jotka sijaitsevat enintään 1 metrin päässä rungon keskilinjasta. Alle 2 cm paksujen juurten vaurioita ei lasketa. Vaurion muu tunnusmerkistö on sama kuin runkovauriossa. (Metsätehon opas 2003)  
Tässä tutkimuksessa juurivaurioita ei luettu.

**Teho aika** on työaika, jossa ei ole mukana keskeytyksiä. Tehoajan yksikkö on tehotunti ( $h_0$ ). (Harstela 2006)

**Käyttö aika** on työaika, jossa on mukana lyhyet, alle 15 minuutin mittaiset keskeytykset. Käyttöajan yksikkö on käyttötunti ( $h_{15}$ ). (Harstela 2006)

**Työmaa-aika** on työaika, joka käsittää koko työntekijän työmaalla viettämän ajan (Harstela 2006).

**Tuotos** on tehdyn työn määrä (Harstela 2006).

**Työn tuottavuus** on tuotoksen ja käytetyn työajan suhde eli tuotos jaettuna ajalla (Harstela 2006), esimerkiksi käyttötuntituottavuus  $ha/h_{15}$ .

**Yksikkökustannus** tarkoittaa yhden tuotosyksikön tuottamiseen tarvittavaa kustannusta, euroa tuotosyksikköä kohti (Harstela 2006).

**Kustannustehokkuus** on käsite, jolla yleensä verrataan yksikkökustannuksia. Alhaiset yksikkökustannukset tarkoittavat hyvää kustannustehokkuutta. (Harstela 2006)

### **2.1.1 Taimikonhoitoon liittyvää termistöä**

**Taimikko** on metsää, jossa ei vielä ole kuitupuun mitat täyttävää puuta. Pienen taimikon keskipituus on alle 1,3 metriä, varttuneen taimikon keskipituus on yli 1,3 metriä ja keskiläpimitta rinnankorkeudelta alle 8 cm (VMI11 2009). Tämän tutkimuksen aineisto on kerätty varttuneesta taimikosta, jonka keskipituus oli noin viisi metriä ja keskiläpimitta rinnankorkeudelta noin 5 cm.

#### **Taimikonhoito**

Taimikonhoidon tarkoitus on varmistaa puuston kehitys terveeksi, tuottavaksi ja hyvälaatuiseksi puustoksi vauhdittamalla puuston kasvua ja järeytymistä. Tämä tehdään taimikon tiheyttä, puulajisuhteita ja puuston laatua säätelemällä. Taimikonhoidon avulla metsikön kiertoaika pyritään lyhentämään ja metsänkasvatuksen kannattavuutta parantamaan, eli tavoitteena on saada metsästä myytävää puuta jo ensimmäisestä harvennushakkuusta alkaen. (Taimikonhoidon perusteet)

Ilman taimikon varhaishoitoa pienet taimet voivat tuhoutua tai vioittua pintakasvillisuuden aiheuttaman kilpailun vuoksi. Heinäntorjunta tehdään tarvittaessa 2–3 ensimmäisen vuoden aikana. (Hyvän metsänhoidon... 2006)

**Varhaisperkaus** tehdään tarvittaessa, jotta **tuotantopuuston** eli myöhemmin ainespuun mitat saavuttavan taimikon kasvu ei taantuisi tai vaarantuisi (Harstela 2006). Perkaus, jossa poistetaan pääasiassa kilpailevaa lehtipuustoa, on yleensä tarpeen männikössä 1–2 metrin pituusvaiheessa. Kuusikossa perkaus voi olla tarpeen jo alle yhden metrin pituudessa. (Hyvän metsänhoidon... 2006)

**Reikäperkaus** on tapa tehdä varhaisperkaus poistamalla vesakko noin metrin säteeltä kasvatettavien taimien ympäriltä. Vesoja, joiden pituus on noin tai alle kolmasosa kasvatettavien taimien pituudesta, ei tarvitse poistaa. (Harstela 2006)

**Perkaus** tarkoittaa tuotantopuustoa haittaavan puuston poistamista, jotta taimikko voisi kasvaa ensiharvennukseen asti ilman lisätöitä. Myös termejä **perkaus ja harvennus** tai **raivaus** käytetään. Varttuneen taimikon perkauksessa puusto jätetään sellaiseen tiheyteen, jossa se voi kasvaa ensimmäiseen kaupalliseen hakkuuseen eli ensiharvennukseen asti. (Harstela 2006) Perkauksessa raivataan kasvatettavan puulajin taimia haittaavaa puustoa, yleensä lehtipuuvesakkoa. Taimikon harvennus kohdistuu sekä pää- että sivupuulajeihin. (Hyvän metsänhoidon... 2006)

Varsinaisen taimikonhoidon ajankohta ja jäävän puuston tiheys vaihtelevat kasvatustavoitteen mukaan. Männyntaimikko harvennetaan yleensä 5–7 metrin valtapituudessa tiheyteen 1 800–2 000 puuta hehtaarilla. Kuusivaltaisessa kohteessa taimikonhoito ajoitetaan 3–4 metrin valtapituuteen, jolloin se hoidetaan tiheyteen 1 600–1 800 puuta hehtaarilla. (Hyvän metsänhoidon... 2006). Varsinaisen perkauksen voi kuusen taimikoissa tehdä heti, kun vesakko ei enää pääse etukasvuisiksi. Tärkeintä on, ettei kuusen taimien kasvu pääse taantumaan lehtipuiden varjostuksen vuoksi. (Harstela 2006)

### **Koneellinen taimikonhoito**

Koneellisessa taimikonhoidossa peruskoneena käytetään yleensä kevyttä tai keskiras-kasta hakkuukonetta, jonka nosturiin on hakkuulaitteen tilalle asennettu raivauslaite. Myös pienkoneperustaisia raivausyksiköitä on kehitetty. Markkinoilla on toistaiseksi ainoastaan yksi pienmetsäkone (Usewood Oy:n Tehojätkä Pro), jossa peruskone on rakennettu mm. raivaustyötä silmällä pitäen. Työmenetelmä on samanlainen koneen koosta riippumatta eli taimikossa edetään järjestelmällisesti työkaistoittain. Kaistan leveys riippuu koneen ominaisuuksista ja nosturin ulottuvuudesta ja sen toimintakyvystä ääriulottuvuuksilla. Hakkuukoneperustaisen taimikonhoitokoneen nosturin ulottuvuus on yleensä 8–10 m ja sen työkaista on selvästi leveämpi kuin pienkoneella.

Taimikonhoitokoneissa käytettävät raivauslaitteet voidaan jakaa toimintaperiaatteen

mukaan kolmeen tyyppiin: sahaaviin laitteisiin, joilla vesat katkaistaan yhdellä tai useammalla pyöröterällä, leikkaaviin laitteisiin, joilla vesat katkaistaan leikkaavilla terillä ja kitkeviin laitteisiin, joilla vesat vedetään maasta juurineen. (Tanttu ja Mutikainen 2010) Tämän tutkimuksen yhteydessä tehty taimikonhoito on suoritettu leikkaaviin laitteisiin kuuluvalla MenSe-raivauspäällä varustetulla metsäkoneella.

### **2.1.2 Ajouriin liittyvää termistöä**

**Ajoura** on varsinaisen tiestön ulkopuolelle puunkorjuuta varten avattu käytävä (Isomäki ja Niemistö 1990). Ajoura on yleensä yli kolmen metrin levyinen kulku-ura, jota käyttävät sekä hakkuukone että metsätraktori tai näiden yhdistelmä eli korjuri. (Metsäteho) Tässä tutkimuksessa taimikonhoitokoneen kulku-urista käytetään nimitystä ajoura, vaikka raivauskoneen liikkumatila ei tätä määritelmää täysin täytä.

**Hakkuu-ura** on ajourien välissä palstalla sijaitseva, hakkuukoneen liikkumiseen ja työskentelyyn käytetty reitti. Myös hakkuukoneen ”pistot” eli poikkeamiset sivuun ajouralta luetaan hakkuu-uriksi. (Metsäteho)

**Urapainuma** on maanpinnan tasosta mitattuna yli 10 cm:n painuma. Mittauksen lähtötasona ja maanpinnan tasona on maalajista riippuen kivennäismaan pinta tai sammal-kerroksen alareuna (turvemaat). Yksittäisiä kuoppia (pituus < 50 cm) tai maanpinnan ”palautuvaa” painumista ei lueta urapainumaksi. Urapainuman edellytyksenä on, että maan pintakerros on leikkaantunut (Metsäteho). Tässä tutkimuksessa ei mitattu eikä kirjattu urapainumia, mutta muutamia yksittäistapauksia lukuun ottamatta yli 10 cm painumia ei havaittu maastomittausten yhteydessä suoritettua visuaalista tarkastelua perusteella.

**”Ajouraväli** on kahden rinnakkaisen ajouran keskilinjoiden etäisyys toisistaan. Risteysalueista, maastosta ja leimikon muodosta johtuvia ajouraverkoston kapeikkokohtia ei oteta huomioon ajouraväliä määritettäessä.” (Metsäteho, s. 24)

Tässä tutkimuksessa ajourien rajaamisen yhteydessä on käytetty käsitteitä, jotka Isomäki ja Niemistö (1990) ovat määritelleet seuraavasti:

**Ajouran reunapuu** on silmävaraisesti yksilöity puu, joka rajoittaa korjuukoneiden liikumista ajouralla. Reunapuiden sijaintipisteitä yhdistävä murtoviiva on **ajouran reuna-viiva** eli **reuna**. ”**Avautumiskulma** ilmaisee kulma-asteina (°), kuinka laaja naapuripuiden rajoittama sektori kunkin puun kasvutilasta liittyy välittömästi ajoura-aukkoon. Avautumiskulman määrittämisessä otetaan huomioon ainoastaan puiden sijaintipisteet.” (Isomäki ja Niemistö 1990, s. 7) Tämän tutkimuksen maastomittauksissa käytettiin reunapuiden hahmottamisessa apuna reunapuun vähintään 120° avautumiskulmaa ajo-uralle. ”**Reunavyöhyke** on ajouraan rajoittuva tila, jolla kasvavassa puustossa on havaittavissa ajoura-aukon läsnäolosta aiheutuvia kasvureaktioita. Reunavyöhyke sisältää ajouran reunapuiden lisäksi metsikkökohtaisesti vaihtelevan määrän reunapuiden varjossa ja takana sijaitsevia ns. **taustapuita**.” (Isomäki ja Niemistö 1990, s. 7)

## 2.2 MenSe-raivauspäät RP 80 ja RP 40

Tämän tutkimuksen yhteydessä taimikonhoitoon käytetyt hydrauliset raivauspäät MenSe RP80 ja MenSe RP40 ovat MenSe Oy:n valmistamia, luumäkeläisen yrittäjä Seppo Mentulan kehittämiä patentoituja tuotteita, jotka on suunniteltu varttuneen taimikon perkaukseen ja harventamiseen. Raivauspäät soveltuvat taimikonhoidon lisäksi käytettäväksi esimerkiksi vesakonraivauksessa, teiden varsien raivauksessa, aluemaisemoinnissa ja linjakäytävien raivauksessa.

Hakkuu- tai kaivinkoneeseen asennettavan, hydraulimoottorikäyttöisellä kampikoneistolla toimivan raivauspään toiminta perustuu edestakaisin liikkuviin päällekkäisiin leikkuuteriin (MenSe yleisesite). Raivauspään kaksipuolinen terä leikkaa molempiin ajosuuntiin 100 cm:n työskentelyleveydellä. Molemmat terät liikkuvat, minkä on tarkoitus pienentää tukkeutumisvaaraa. (MenSe RP80 -raivauspää) MenSe RP 80-raivauspään leikkuuleveys on 90–120 cm (MenSe-raivauspää, tekninen esitys 2008). Raivauspäällä voidaan kertakatkaisulla raivata 7 cm (RP 40) tai 10 cm (RP 80) runkopaksuuksia ja katkaisu sahaamalla onnistuu 20 cm runkopaksuuteen asti. (MenSe-raivauspäiden...)



Kuva 1. MenSe RP80 (Kallioniemi, P. 2011).



Kuva 2. MenSe RP40 (Metsäteho, 2010).

## 2.3 Ajouran puuntuotannolliset vaikutukset

### 2.3.1 Yleistä

Metsurin suorittamassa manuaalisessa taimikonhoidossa on koneelliseen taimikonhoitoon verrattuna se ero, että koneellisessa perkauksessa ja harvennuksessa syntyy ajouria, jotka pienentävät kasvatettavan puuston tiheyttä. Isomäen ja Niemistön (1990) mukaan ajourien puuntuotannollisia vaikutuksia eli niiden puuntuotannollista hintaa voidaan lähteä selvittämään tutkimalla, paljonko ajourien avaamiseksi joudutaan poistamaan kasvatuskelpoista puustoa eri olosuhteissa eli miten suuri on ns. systemaattisen harvennuksen osuus metsikön pinta-alasta ja puustosta. On siis tutkittava ajouran leveyden ja ajouravälin (ajouratiheyden) vaikutuksia puuntuotoksen määrään ja laatuun. Lisäksi ajouran puuntuotannollisten vaikutusten selvittämiseksi on tutkittava, missä puu- ja puustokohtaisissa tunnuksissa on havaittavissa ajourakäytävien aiheuttaman reunavaikutuksen ilmenemistä, mikä on sen kesto ja voimakkuus eri olosuhteissa ja kuinka kauas ajourakäytävästä reunavaikutuksen esiintymisvyöhyke ulottuu. On myös

tutkittava, aiheuttaako ajourakäytävä reunapuiden runkomuotoon sellaisia muutoksia, joilla voisi olla vaikutusta puun käyttöarvoon. (Isomäki ja Niemistö 1990)

Isomäki ja Niemistö (1990) toteavat, että ajourien tuotantovaikutusten tutkiminen on monimutkaista, sillä monet metsikkötekijät samoin kuin ajourien tiheys, leveys ja mutkaisuus vaikuttavat tuotoksen määrään ja laatuun. Lisäksi ajouriin yleensä liittyy metsäkoneiden aiheuttamia puusto-, juuristo- sekä maastovaurioita. Vaurioitumiseen vaikuttavat edellä lueteltujen tekijöiden lisäksi myös korjuuolosuhteet, -menetelmät ja -koneet, työmaan suunnittelu sekä työntekijöiden ammattitaito ja huolellisuus. Korjuukoneiden koon pientyminen sekä niiden ketteryys ja muiden maast ominaisuuksien kehittyminen auttavat alentamaan ajourien leveyttä, toisaalta koneellinen puunkorjuu lisää tilan tarvetta pelkkään metsäkuljetukseen verrattuna (Isomäki ja Niemistö 1990).

Isomäki (1994) toteaa, että puuntuotannollisissa ajourakäsitteissä ajoura nähdään usein puuston kasvutilaa vähentävänä tekijänä. Tällöin tärkeää ei ole niinkään ajoura-aukon leveys vaan se, paljonko ajouran takia poistettujen puiden mukana menetetään metsikön kasvupotentiaalia. Osa ajoura-alueelta poistetuista puista poistettaisiin valikoivan harvennuksen yhteydessä ilman ajouraakin. (Isomäki 1994) Isomäki ja Niemistö (1990) arvioivat, että ajourakäytävän vaikutus puustoon vastaa perusteiltaan ja ilmenemis- muodoiltaan tavanomaisen harvennuksen aiheuttamaa kasvureaktiota.

Niemistön (1992) mukaan ajouran puuntuotannollisella leveydellä pyritään ilmentämään ajouran vaikutusta puuston kasvuun ja tuotokseen. Tämän tulkinnan mukaan ajouran vaikutus ulottuu varsinaisen ajoura-aukon ulkopuoliselle, niin kutsutulle reunavyöhykkeelle, jonka leveydeksi Fries (1976) mainitsee 4–6 m, Andersson (1969) neljä metriä ja Bucht & Elfving (1977), Bucht (1981), Eriksson (1982, 1987) sekä Isomäki ja Niemistö (1990) kolme metriä.

Isomäki ja Niemistö (1990) ovat tutkineet ajourien vaikutusta puuston kasvuun eteläsuomalaisissa nuorissa kuusikoissa. He toteavat tutkimuksensa perusteella, että ajoura- ja vertailuvyöhykkeiden kasvuerojen tehokkain selittäjä ei ollut tutkimuksessa itse ajoura vaan kasvamaan jätetyn puuston määrä. Riippuvuussuhteen puuston määrän ja



kasvun välillä havaittiin olevan kiinteä ja muodoltaan suoraviivainen. Tulosta arvioitaessa on otettava huomioon, että tutkimuksessa ajourille ja niiden reunavyöhykkeille oli korjuun yhteydessä kertynyt hakkuutähteitä, joiden erillistä lannoitusvaikutusta ei tutkimuksen yhteydessä voitu luotettavasti arvioida (Isomäki ja Niemistö 1990).

Isomäen ja Niemistön (1990) tutkimuksessa luotua mallia soveltaen vaikuttaisi siltä, että jos reunapuusto jätetään ensiharvennuksessa muuta puustoa tiheämmäksi, ajouralla ei olisi lainkaan kielteistä vaikutusta metsikön kokonaistuotokseen. Mallin mukaan nuoren kuusikon kasvu on selvästi riippuvainen puuston kokonaismäärästä, eikä ajouran edellyttämällä pienialaisella tiheysvaihtelulla eli puiden välisellä epäsäännöllisellä tilajärjestyksellä näyttäisi olevan tuotosta alentavaa vaikutusta. Isomäen ja Niemistön (1990) tutkimusaineiston perusteella ajouran leveyden vaihtelulla ei näyttäisi olevan johdonmukaista vaikutusta ajoura- ja vertailuvyöhykkeen välisiin kasvueroihin.

Isomäen ja Niemistön (1990) mukaan hyvin hoidetuissa, maastoltaan tasaisissa nuorissa eteläsuomalaisissa kuusikoissa ajourien avaamiseksi joudutaan poistamaan arviolta vähintään 8 % kasvatuskelpoisesta puustosta, kun neljän metrin levyiset ajourat avataan 30 m välein. Heidän arvionsa mukaan ajouran ulkoleveydestä puolet kuuluu heti ajouran avaamisen jälkeen reunapuiden hyväksikäytön piiriin, ja koska reunapuiden lisäkasvu korvaa osan ajouratilan kasvutappioista, he arvioivat ajourien aiheuttaman kokonaiskasvutappion olevan likimäärin  $10 \text{ m}^3/\text{ha}$ , kun oletuksena on että reunapuusto ”valtaa” ajouratilan 15 vuoden aikana. Isomäen ja Niemistön (1990) mukaan osa ajouralta poistettavasta puustosta voitaisiin korvata jättämällä ajouran reunavyöhykkeisiin ylimääräisiä, muutoin poistettavia puita.

Isomäki ja Niemistö (1990) havaitsivat tutkimuksessaan, että reunapuiden sädekasvun paraneminen alkoi heti ensimmäisenä kasvukautena ensiharvennuksen jälkeen ja saavutti lopulta 25 % etumatkan vertailuvyöhykkeeseen. Paksuuskasvun paranemista havaittiin osalla koealoista myös taustapuissa, jotka sijaitsivat korkeintaan kolmen metrin etäisyydellä ajouran reunasta. Reunapuiden paksuuskasvureaktio oli samanlainen 6 m korkeudella ja rinnankorkeudella. Pituuskasvuun ajourilla ei ollut vaikutusta. Reunavaiikutuksen maksimi saavutettiin 5–7 vuodessa eikä vaikutuksen loppumisesta havaittu merkkejä tutkimuksen kesto aikana (11 v). (Isomäki ja Niemistö 1990) Isomäen (1986)

tulosten mukaan reunavaikutus vaikuttaisi ulottuvan vain niihin puihin, joilla on välitön juuristo- ja latvusyhteys ajouratilaan. Isomäki (1986) havaitsi tutkimuksessaan, että linjakäytävällä oli selvä myönteinen kasvua lisäävä reunavaikutus kuusikossa. Koivikossakin reunavaikutus oli merkittävä, mutta männikössä se jäi selvästi heikommaksi. Reunavaikutuksen ajallisesta loppumisesta ei saatu Isomäen (1986) tutkimuksen aikana merkkejä. Reunavaikutus ei pysty korvaamaan linjakäytävän aiheuttamaa tuotostappiota. (Isomäki 1986)

Isomäen ja Niemistön (1990) tutkimuksessa reunapuut kasvoivat ensiharvennuksen jälkeen keskimäärin 20 % voimakkaammin kuin kauempana ajourasta sijaitsevat puut muodostaen keskimäärin neljänneksen ja enimmillään kolmanneksen metsikön tulevas- ta tuotoksesta. Reunavaikutuksen alainen, korkeintaan 3 metrin etäisyydellä ajouran reunasta kasvava puusto edusti enimmillään lähes puolta metsikön tuotoksesta. Tulosta tarkastellessa on huomioitava, että ajouralle ja sen läheisyyteen kertyneiden hakkuu- tähteiden lannoitusvaikutus saattoi tuoda ajoura-aukon reunavaikutuksen esille yliko- rostuneena. Reunapuustoa on tutkimuksen mukaan kuitenkin pidettävä puuntuotannol- lisesti merkityksellisempänä kuin mitä sen runkotilavuudesta harvennushetkellä voitai- siin päätellä. (Isomäki ja Niemistö 1990)

Isomäen ja Niemistön tutkimus on tehty nuorissa kuusikoissa, joiden ensiharvennus on tehty 6–11 vuotta ennen mittauksia. Harvennushakkuukohteilta mitattuja tuloksia ajouran vaikutuksesta kasvatettavaan puustoon ei voi soveltaa suoraan ajouran aiheut- tamien kasvuvaikutusten arvioimiseen taimikonhoitokohteilla. Koneellisessa taimikon- hoidossa avattujen ajourien puuntuotannollisia vaikutuksia pitäisi tutkia erikseen.

### **2.3.2 Ajouran leveyden määrittäminen**

Ajouran puuntuotannollisten vaikutusten selvittämiseksi on mitattava ajouran leveys, jonka määrittämiseksi on luotu useita ajouran leveyskäsitteitä. Tässä kappaleessa esitel- lään muutamia tähän tutkimukseen liittyviä ajouran leveyskäsitteitä.

Metsäkoneen tilantarpeen kannalta on oleellista, että kasvamaan jäävä puusto ei estä tai vaikeuta kohtuuttomasti koneen liikkumista ja työskentelyä maastossa. Lisäksi puun-

korjuun ja -kuljetuksen edellytetään tapahtuvan kasvamaan jäävää puustoa vaurioittamatta. (Isomäki 1994)

Ajouran leveyttä määriteltäessä voidaan lähtökohtana pitää joko korjuukoneen tilantarvetta, jolloin käytetään termiä **ajouran korjuutekninen leveys** tai ajourasta aiheutuvaa puuntuotannollista haittaa, jolloin voidaan käyttää termiä **puuntuotannollinen leveys**. (Isomäki 1994)

**Korjuutekninen leveys** on samalla **ajouran tavoitelevyys**, jos se määritellään korjuukoneen tilantarpeen mukaan. Tavoitelevyden mukaiseen ajouratilaan liittyy myös levennyksiä, jotka ovat ajouralla liikkuvien korjuukoneiden käytettävissä, ja siksi ajouran tavoitelevyys on aina pienempi kuin sen maastossa havaittavissa oleva leveys. Mikäli korjuutekninen leveys määritellään metsäkoneen käytettävissä olevan koko ajouratilan mukaan, käytetään nimitystä **ajouran ulkoleveys**, mikä tarkoittaa reunapuiden rajoittamaa avointa tilaa, johon kuuluvat myös edellä mainitut levennykset. (Isomäki 1994)

**Ajouran ohjelevyys** eli (nimellinen) **tavoitelevyys** kuvaa työkoneen tarvitsemaa kulku- ja työskentelytilaa ja se on yleensä kerrottu leimikon suunnitteluohjeessa. Maastossa tämän käsitteen mukaista ajouraa ei voida konkreettisesti osoittaa eikä myöskään yksiselitteisesti mitata. (Isomäki 1994)

Isomäki ja Niemistö (1990) ovat määritelleet kaksi termiä kuvaamaan **ajouran puuntuotannollista leveyttä**. Jos ajouran puuntuotannollinen leveys määritellään ajouralta poistetun puuston myötä menetetyn tuottavan kasvutilan perustella, käytetään termiä **ajouran puustoleveys**. **Ajouran sisälevyys** -käsitettä käytetään, kun arvioidaan puuntuotannon ulkopuolelle jäävän kasvutilan menetystä, eli sisälevyys kuvaa reunapuiden väliin rajoittuvaan tilaan jäävää tuottamatonta kasvutilaan sen jälkeen, kun on huomiotu reunapuiden omassa käytössä oleva kasvutila. Ajouran sisälevyys on siis reunapuiden väliin jäävän vajaakäyttöisen alueen pinta-ala. (Isomäki ja Niemistö 1990)

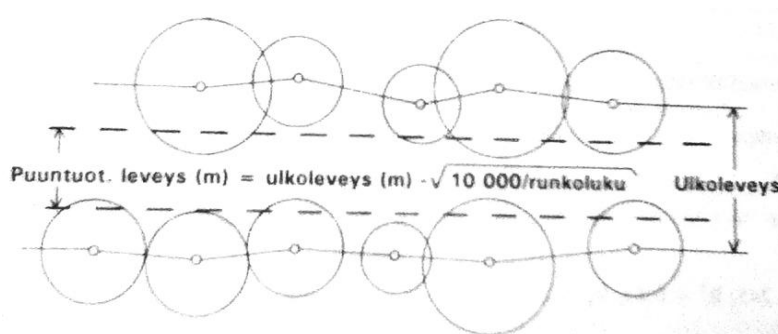
Tässä tutkimuksessa käytetään **ajouran sisäleveyden** mukaisen **puuntuotannollisen ajouran** eli **ajouran puuntuotannollisen leveyden** määrittämiseen Niemistön (1992) kaavaa (1), jota havainnollistaa kuva 3. Kaavalla voi laskea puuston tiheydestä johdetun

**likimääräisen ajouran sisäleveyden** vähentämällä aikaisemmin kuvatusa ulkoleveydestä puiden välinen keskietäisyys. (Isomäki ja Niemistö 1990) "Puuntuotannon kannalta ajouran leveydellä tarkoitetaan tässä sitä lisäetäisyyttä, jonka ajoura aiheuttaa reunapuiden välille verrattuna puun keskimääräiseen etäisyyteen neljästä lähimmästä puusta" (Niemistö 1992). Tässä tutkimuksessa ulkoleveys on määritetty NISKin menetelmällä ja puuston tiheys on jäävän puuston hehtaarikohtainen runkoluku harvennuksen jälkeen.

(1)

$$\text{Puuntuotannollinen leveys (m)} = \text{ulkoleveys (m)} - \sqrt{10\,000/\text{runkoluku (kpl/ha)}}$$

(Niemistö 1992)



Kuva 3. "Ajouran puuntuotannollisen leveyden laskenta ulkoleveyden ja puiden välisen etäisyyden avulla. Ulkoleveyden ei oleteta lisääntyvän puuston harvetessa, koska ajoura on jo olemassa tai se pystytään suuntaamaan entistä paremmin kasvatettavien puiden välistä" (Niemistö 1992, s. 6).

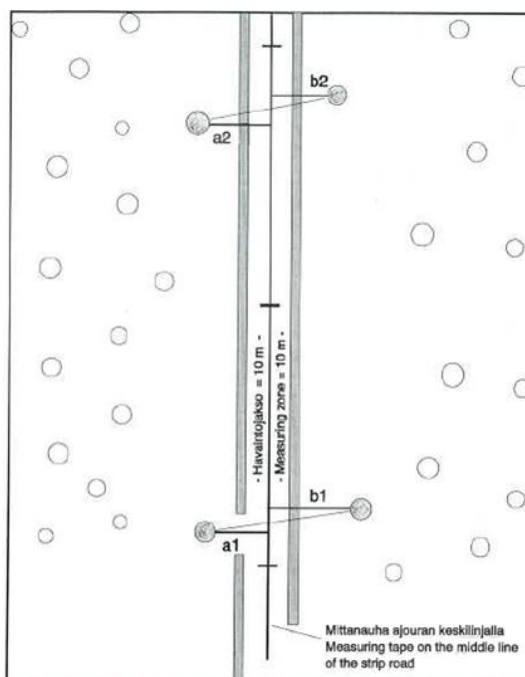
Tässä tutkimuksessa ajouran leveys on määritetty kahdella eri menetelmällä. Buchtin (1978 ja 1981) menetelmällä on määritetty ajouran korjuutekninen leveys ja Tørån (1978) eli NISKin menetelmällä ajouran ulkoleveys. NISKin menetelmää on tässä tutkimuksessa täydennetty Isomäen ja Niemistön (1994) menetelmän mukaisella tarkennuksella, että puu luokitellaan ajouran reunapuuksi, jos sen avautumiskulma on suurempi tai yhtä suuri kuin 120°. Tätä kulmaa ei kuitenkaan maastossa mitattu, vaan arvioitiin silmämääräisesti sellaisissa tapauksissa, joissa oli epäselvää, kuuluuko tietty puu ajouran reunapuihin.

**Buchtin menetelmällä** tarkoitetaan tässä tutkimuksessa Buchtin (1978 ja 1981) määrittelemää tavoiteleveyteen perustuvaa, yksinkertaista ja käytännöllistä tapaa määrittää

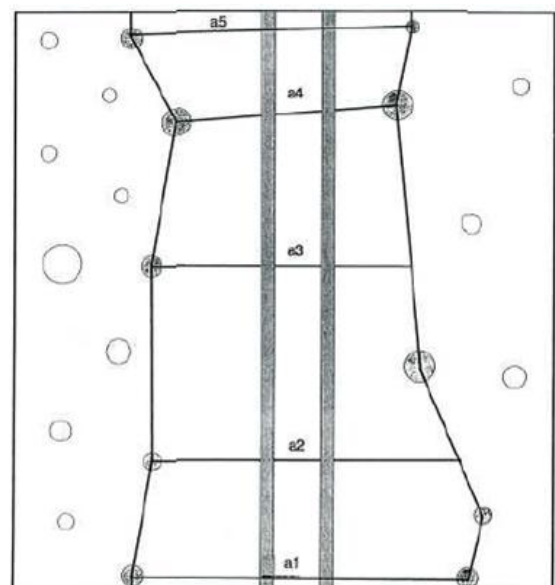
kulkukelpoisuutta rajoittava ajouran tavoiteleveys maastossa. Buchtin toinen, puuston kartoitukseen perustuva ajouran leveyden määrittämismenetelmä soveltuu työläytensä takia lähinnä vain tutkimuskäyttöön. (Isomäki 1994)

Buchtin maastomittausmenetelmässä ajouran leveys määritetään reunapuiden muodostamien kapeikkojen avulla (kuva 4). Buchtin mukaan kapein kohta, jossa vastakkain sijaitsevat reunapuut rajoittavat metsäkoneen liikkumista, ilmentää parhaiten korjuukoneen tarvitsemaa ajouratilaa. Buchtin mukaan ajouran suurempi leveys muualla ei johdu ajourasta vaan metsikön luontaisesta aukkoisuudesta ja valikoivasta harvennuksesta. Vastakkain sijaitsevat reunapuut muodostavat ikään kuin portin, jonka läpi työkoneen on kuljettava. Ajouran keskilinja määritetään silmävaraisesti. (Isomäki 1994)

Buchtin menetelmän huonoja puolia ovat keskilinjan silmämääräisen määrittämisen epätarkkuus, joka voi aiheuttaa virheen etäisyysmittauksessa sekä ajouran kapeimman ”portin” leveyden määrittäminen, koska se Isomäen (1994) mukaan johtaa liian pieneen ajouran tavoiteleveyteen, sillä helpossa maastonkohdassa työkonen tarvitsema tila on merkittävästi pienempi kuin mutkassa tai epätasaisella alustalla. Menetelmä ei ota huomioon myöskään työkonen tarvitsemaa kuormauksesta, koneellisesta kaadosta tai puutavaran valmistuksesta johtuvaa tilantarvetta. (Isomäki 1994)



Kuva 4. Tavoiteleveys Buchin menetelmän mukaan. Skogshögskolan 1981.



Kuva 5. Tavoiteleveys Tørn menetelmän mukaan. NISK 1978.

**Tørån eli NISKin menetelmässä** ajouran leveys määritellään ulkoleveyskäsitteen mukaan. Tørån (1978) menetelmässä mitataan ajouran vastakkaisilla puolilla sijaitsevien puiden välisiä etäisyyksiä. Niille lasketaan keskiarvo, jota pidetään ajouran leveytenä (kuva 5). Mikäli jonkin puun kohdalla ei esiinny vastinpuuta ajouran toisella puolella, mitataan etäisyys kahden peräkkäin sijaitsevan puun väliseen yhdysjanaan. Menetelmässä on tärkeää, että leveyshavainnot tehdään ajouran pääsuuntaa vastaan koh-tisuorassa, muuten ajouran leveydelle saadaan systemaattisesti liian suuria lukuarvoja. Tørån menetelmässä ajouran reunapuut määritetään silmävaraisesti, mikä heikentää mittauksen toistettavuutta. (Isomäki 1994)

**Isomäen ja Niemistön menetelmässä** puiden sijainti ajouraan nähden määritellään ns. avautumiskulmalla, joka ilmaisee kulma-asteina ( $^{\circ}$ ), kuinka suuri sektori puun kasvutilas-ta liittyy välittömästi ajoura-aukkoon. Avautumiskulma määritetään puun vierekkäisten reunapuiden avulla. Puun sijainti määritellään sijaintipisteen avulla, joilla tarkoitetaan rungon pystyakselin ja maanpinnan välistä leikkauspistettä. Isomäen ja Niemistön me-netelmässä puu luokitellaan ajouran reunapuuksi, jos sen avautumiskulma on vähintään  $120^{\circ}$ . (Isomäki 1994)

## **2.4 Korjuujälki ja vauriot**

Sirénin (1998 s. 13) mukaan ”korjuujäljellä tarkoitetaan puuston ja maaperän tilaa puunkorjuun jälkeen. Käsitteeseen sisällytetään yleensä puustovauriot, ajourapainumat, ajouraväli ja -leveys sekä leimikon harvennusvoimakkuus ja puuvalinta.” Puustovauriot jaetaan runko- ja juurenniskavaurioihin. Runkovaurioihin kuuluvat puun rungossa olete-tun kaatoleikkauskohdan yläpuolella sijaitsevat vauriot, juurenniskavaurioihin kaatoleik-kauskohdan alapuolella juurenniskassa ja maanpäällisissä, vähintään 2 cm paksuissa juurissa ja korkeintaan 100 cm etäisyydellä juurenniskasta sijaitsevat vauriot. Vauriot jaetaan pintavaurioihin, joissa vain puun kuori on vaurioitunut ja syvävaurioihin, joissa myös itse puuaines on vaurioitunut. (Sirén 1998)

Sirénin 1998 mukaan moottorisahahakkuussa ei synny merkittäviä puustovaurioita, vaan suurin osa puustovaurioista syntyy metsäkuljetuksessa. Kaadettavan puun osumi-

nen kasvamaan jäävään puuhun voi aiheuttaa (yleensä lieviä) puustovaurioita, joiden merkitys on kokonaisuudessaan vähäinen (Sirén 1998).

Korjuussa tai metsäkuljetuksessa syntyvien runko- ja juurivaurioiden seurauksena puu altistuu lahottajasienten vaikutukselle. Runkovaurioissa puuhun syntyy kylestymisen myötä koro, ja pienenkin runkovaurion kylestyminen voi kestää jopa kymmenen vuotta. Puun sisään jäävä syvä koro, alentaa merkittävästi puun jalostusarvoa. Juurivaurion saaneen puun kasvu hidastuu veden ja ravinteiden saannin heiketessä. (Metsäteho)

Koivu ja kuusi ovat vaurioiden jälkeen alttiita saamaan lahovian. Verinahakkasieni on yleisin korjuuvaurioista alkunsa saavan lahon aiheuttaja, toinen merkittävä lahottajasieni on juurikäpää, joka leviää kuusikoissa juurten välityksellä. Esimerkiksi raivaimesta syvän vaurion saanut puu saa sienitartunnan helpommin, sillä syvemmällä puuaineessa on kerroksia, joiden kosteus on sopiva lahottajasienten leviämiselle. Syvään vaurioon kertyy myös helpommin haitallisia sieni-itiöitä. Puun kannon maanpäällisessä osassa sijaitsevat vauriot ovat puun lahoutumisen kannalta haitallisimpia. Yli 100 cm:n etäisyydellä rungosta sijaitsevat juurivauriot ovat merkityksettömiä ja läpimitaltaan alle 2 cm paksujen juurten vaurioituminen aiheuttaa vain värivikaa. (Metsäteho)

Sirén (1998) toteaa, että korjuujälkeä mitattaessa myös seurausvaikutuksiin kannattaisi kiinnittää huomiota. Seurausvaikutuksiin vaikuttavat vaurioiden laatu, koko ja vauriopuun laji. Sirénin (1998) mukaan huono korjuujälki aiheuttaa kasvu- ja laatutappioita sekä sekundäärituhoja. Kasvutappioita aiheuttavat ajourat, ajourapainumat ja puustovauriot, laatutappioita puustovauriot lahoutumisen tai koroutumisen seurauksena. Korjuujäljen sekundäärituhoilla tarkoitetaan yleensä hyönteis- tuuli ja lumituhoja. Tuohyönteiset iskeytyvät herkemmin vaurioiden heikentämiin puihin ja juurivauriot altistavat puut myrskytuhoille. Sekundäärivaikutuksiin kuuluu myös maannousemasienen aiheuttama laho kesäaikaisissa harvennuksissa. Tuhojen ennustaminen ja arviointi on hankalaa. (Sirén 1998)

Sirén (1998) havaitsi tutkimuksessaan, että vaikka jäävän puuston määrä oli suhteellisen tasainen eri etäisyyksillä ajourasta, laski raivattujen puiden määrä selvästi uralta pois-

päin mentäessä ja poistettavien puiden määrä kasvoi uralta pois päin siirryttäessä. Etäisyys ajourasta ei vaikuttanut vaurioiden osuuteen.

Sirénin (1998) tutkimuksessa tuottavuus ja korjuujälki vaihtelivat suuresti kuljettajasta riippuen, ja hänen tutkimusaineistossaan hyvä korjuujälki ja korkea tuottavuus olivat yhteydessä toisiinsa. Sekä korjuujälki että tuottavuus riippuvat Sirénin (1998) mukaan ratkaisevasti kuljettajasta, joka pystyy työn suunnittelulla vähentämään puustovaurioiden määrää. Sirén (1998) toteaa, että hakkuutyössä ja metsäkuljetuksessa tarvittavat tiedot ja taidot poikkeavat toisistaan ja hakkuukonetyön vaativuus olisikin otettava huomioon kuljettajien koulutuksessa. Hakkuukoneen kuljettaja vastaa Sirénin (1998, s. 154) mukaan ”hakkuutyön tuottavuudesta, puuvalinnasta, mittauksesta, apteerauksesta, yleensä myös ajourien sijoittamisesta, ympäristöasioiden huomioon ottamisesta, koneen huollosta ja yhteydenpidosta sidosryhmiin”. Korjuujäljen valvonta ja yrittäjien motivointi on myös tärkeää, kun pyritään hyvään korjuujälkeen (Sirén 1998).

## **2.5 Koneellisen taimikonhoidon tuottavuus ja kustannukset**

Harstela (2006) toteaa, että raivaussahaperkauksen tuottavuus on noin 2 m valtapituudessa 0,6–1,2 ha/pv ja noin 6 m valtapituudessa 0,3–0,7 ha/pv. Harstelan (2006) mukaan raivaussahatyössä kaksi merkittävintä työajanmenekkiin vaikuttavaa tekijää ovat poistettavien runkojen lukumäärä ja kantoläpimitta, mikä tarkoittaa, että kustannukset nousevat puuston vanhetessa. Jo kahden vuoden viive voi nostaa kustannuksia 20–30 prosenttia (Harstela 2006).

Metsätehon raportissa nro 218 (2011) tutkittiin koneellisen istutuksen ja taimikonhoidon kilpailukykyä metsurityöhön verrattuna. Tutkimuksessa todettiin koneellisen varhaisen taimikonhoidon kustannusten kitkevällä Naarva-perkaajalla suoritettuna nousevan noin 2,1–2,5 -kertaiseksi suhteessa metsurityöhön. Lähtöoletuksena oli kuitenkin, että varsinaista taimikonhoitoa ei tarvitse kitkevällä Naarva-perkaajalla suoritettua varhaisperkauksen jälkeen tehdä lainkaan. Tässä tapauksessa Naarvalla tehty varhaisperkaus olisi edullisempaa kuin raivaussahatyönä tehdyn varhaisperkauksen ja taimikonharvennuksen yhteiskustannukset. Jos suoritettaisiin pelkkä varhaisperkaus, olisi Naarva-perkaaja metsurityön kustannuksista johdetun tuottavuuden minimivaatimuksen



tasolla tai ylittäisi sen 6–28 prosentilla. Oletus kitkennän riittävydestä ainoaksi taimikonhoitokerraksi vaatii kuitenkin lisäselvityksiä. (Strandström ym. 2011)

Strandströmin ym. (2011) toteavat tutkimuksessaan, että hakkuukoneeseen asennetun MenSe-raivauspään ja pienmetsäkoneeseen asennetun UW40-risuraivaimen kustannuskilpailukyvyssä on huomattava ero. UW40 oli tutkimuksen mukaan kustannuksiltaan kilpailukykyinen metsurin kanssa, kun poistuman kantoläpimitta oli vähintään 3 cm ja poistuman tiheys taimikonharvennuksessa tasoltaan keskimääräinen. MenSen kustannukset olivat 1,5–1,9 -kertaiset metsurityöhön verrattuna keskimääräisissä olosuhteissa. MenSeen verrattuna UW40:n tuntikustannukset olivat noin 40 % pienemmät. Strandström ym. (2011) toteavat, että MenSen käyttötuntituotoksen tulisi nousta noin 1,5–2,2 -kertaiseksi, jotta kustannuksissa päästäisiin metsurityön tasolle, mikä tarkoittaa työvaikeustekijöistä riippuen vähintään 0,18–0,26 hehtaarin tuotosta käyttötunnissa.

Stradström ym. (2011) pitävät metsänhoitotöiden koneellistamisessa tärkeänä sitä, että koneyksiköille varmistetaan riittävät työmäärät tarkoituksenmukaisilla kohteilla. Pienmetsäkoneen etuna voidaan pitää selvästi pienempiä pääomakustannuksia, helppoa siirrettävyyttä ja matalaa polttoaineen kulutusta. Vaikka MenSellä taimikonhoitokustannukset olivat 40–90 % metsurityötä suuremmat, se saattaisi kuitenkin olla kilpailukykyinen vaihtoehto vaikeissa taimikon harvennuksissa, joissa poistuma ja kantoläpimitta ovat Strandströmin ym. (2011) tutkimuksessa käytettyjä laskentavaihtoehtoja suuremmat. Tällaisia kohteita olisivat käytännössä hoitamattomina kasvatetut tiheät ja järeähköt taimikot. Stradströmin ym. mukaan (2011) metsänhoitolaitteiden suunnittelu vain tietyille erikoiskohteille sopiviksi ei kuitenkaan välttämättä mahdollista riittävää käyttöastetta.

Strandström ym. (2011) mukaan koneellisella istutuksella ja taimikonhoidolla voidaan vähentää metsäalan työvoimatarvetta. Työvoiman riittävyyden näkökulmasta on hyvä asia, että koneellinen taimikonharvennus sitoo jo nykyisellä tuottavuustasolla vähemmän henkilöresursseja kuin metsurityö. Strandströmin ym. (2011) tutkimuksen mukaan Naarvan resurssitarve on 57–66 % pienempi kuin metsuriketjulla, kun koko taimikonhoitoketju otetaan huomioon. Taimikonharvennuksessa UW40-risuraivaimen resurssitarve on 1–26 % ja MenSe-raivauspään 16–37 % pienempi kuin metsurityössä.

Strandström ym. (2011) toteavat, että tehokkaamman taimikonhoitotyön lisäksi koneellinen perkaus vähentää myös työntekijän fyysistä rasittumista työsuorituksen aikana.

Strandström ym. (2011) osoittavat tutkimuksessaan, että yleisesti ottaen istutuksen ja taimikonhoidon koneellistaminen ei tuo kustannussäästöjä metsurityöhön verrattuna, mutta painottaa, että kuljettajalla ja työolosuhteilla on suuri vaikutus koneellisen istutuksen tuottavuuteen. Strandström ym. (2011) mukaan yksi syy koneellisen istutuksen vastaavaa metsurityöketjua heikompaan kustannuskilpailukykyyn on puutteet tuottavuuden vaihtelun hallinnassa. Strandström ym. (2011) toteavat, että tulevaisuudessa työvoimakustannusten nousun myötä työvoiman riittävyyden ja resurssien käytön tehokkuuden näkökulmasta koneellinen metsänhoito tuo nykyiselläkin tuottavuustasolla etua suhteessa vertailuketjuihin. Lisäksi työvaiheiden yhdistäminen koneellisessa istutuksessa ja kitkevässä perkauksessa todennäköisesti vähentää työnjohtopanoksen tarvetta. (Strandström ym. 2011)

Taloudellisen kannattavuuden näkökulmasta on ratkaisevaa, kuinka hyvin koneellisella kitkennällä voidaan ehkäistä tulevaa taimikonhoitotarvetta. Aihetta on tutkittu viime aikoina mm. opinnäytetöissä. Heikkisen (2009) tulosten perusteella vaikuttaa mahdolliselta, että kitkentä voi vähentää huomattavasti tai sopivilla kohteilla ehkäistä lähes kokonaan taimikon uudelleen vesomisen. Kukkonen (2011) toteaa, että kitkennän jälkeen kasvatettavien kuusten lähelle jääneiden haittapuiden kasvua simuloineen tutkimuksen perusteella 68 % kitkemällä peratuista kuusikoista ei tarvitse toista taimikonhoitokertaa. Nuortimo (2008) muistuttaa, että kitkevä perkauskone on kiinnitettävä nostoteholtaan riittävän tehokkaaseen alustakoneeseen, sillä tehokkaammalla nosturilla kitkeminen onnistuu kauempaa ja jäävät taimet vaurioituvat vähemmän. Nuortimo (2008) toteaa myös, että vesojen irrotustekniikka vaikuttaa syntyviin puustovaurioihin, eli nostettaessa poistettavia vesoja suoraan ylöspäin tarvitaan paljon voimaa, mutta kasvamaan jäävä taimi ei ole niin altis vaurioille kuin siinä tapauksessa, jos perkauskonetta aluksi vedetään hakkuukonetta kohti.

Rantala ja Kautto (2011) toteavat tutkimuksessaan, että koneellisen kitkentätyön ja metsurityönä toteutettavan varhaisperkauksen keskimääräinen tehollinen työajamenekki (7,1 h/ha) on samaa suuruusluokkaa, joten yksittäisenä työajajina kitkentään

perustuva koneellinen varhaisperkaus on raivaussahatyötä kalliimpaa. Koneellisen kitkennän kustannuskilpailukyky suhteessa raivaussahatyöhön kuitenkin paranee työkohteiden vaikeutuessa, toisaalta poistettavan puuston lukumäärä vaikuttaa myös koneellisen kitkennän ajanmenekkiin. Konetyöhön on kuitenkin manuaalista työtä helpompi liittää muita työlajeja, esimerkiksi taimikon terveystai kasvatuslannoitus. (Rantala ja Kautto 2011)

Rantalan ja Kauton (2011) tutkimuksessa kasvatettavista kuusista keskimäärin 6 % vaurioitui kitkennän yhteydessä kasvatuskelvottomiksi. He toteavat, että jos koneyksiköllä olisi mahdollista ajaa taimirivien välissä, mikä edellyttäisi kasvatettavien puiden osalta systemaattista tilajärjestystä, jäisi vaurioituneiden taimien osuus merkittävästi pienemmäksi.

Rantala ja Kautto (2011) toteavat, että koneellisen kitkennän kustannuskilpailukyvyyn ratkaisee se, voidaanko kitkennällä ehkäistä tulevaa taimikonhoitotarvetta. Rantalan ja Kauton (2011) mukaan koneellinen kitkentä on koko metsänuudistamisketjun näkökulmasta tarkasteltuna sopivilla työkohteilla taloudellisesti kilpailukykyinen menetelmä raivaussahatyöhön verrattuna ja koneelliseen kitkentään perustuva kuusen taimikoiden varhaisperkaus on yksi mahdollisuus rationalisoida koko metsänuudistamisketjua. Lisää tutkimustietoa kuitenkin tarvitaan mm. lehtipuuston uudelleen vesomisesta kitkennän jälkeen, kuusien reagoinnista ympäröivän lehtipuuston kitkentään, kitkemättä jääneiden ja kitkennässä vaurioituneiden haittapuiden vaikutuksesta kuusten kasvuun ja puuraaka-aineen laatuun sekä kitkennän mahdollisesti aiheuttamista juuristovaurioita ja niihin liittyvistä pitkäaikaisista seurannaisvaikutuksista. (Rantala ja Kautto 2011)

## **2.6 Taimikonhoidon ajoitus**

Metsänkasvatuksen eri vaiheissa tehtävät metsänhoitotoimet vaikuttavat seuraavien toimien tarpeellisuuteen, ajankohtaan ja kustannuksiin. Taimikonhoidolla on suuri vaikutus metsikön myöhempään kehitykseen ja metsänkasvatuksen kannattavuuteen. Taimikonhoidon ajoitus ja voimakkuus vaikuttavat metsikön tuotokseen ja laatukehitykseen ja sitä kautta ensiharvennuksen ajoitukseen ja kannattavuuteen. (Huuskosen ja Hynysen 2006)

Huuskosen ja Hynysen 2006 tulokset osoittivat, että taimikonhoito nopeutti selvästi puuston järeytymistä männikössä. Taimikonhoito 3 m valtapituusvaiheessa 2 000 kpl/ha tiheyteen johti 15 % suurempaan keskiläpimittaan ( $H_{dom}$  14 m) ensiharvennusvaiheessa verrattuna harventamattoman (3 000 kpl/ha) luontaisesti syntyneen männikön kehitykseen. Aikaisessa vaiheessa tehty voimakas taimikonhoito johti nopeimpaan keskiläpimitan kehitykseen ensiharvennusvaiheessa, mutta aikainen ja lievä taimikonhoito johti 40 % suurempaan ensiharvennuskertymään kuin myöhäisessä vaiheessa tehty voimakas taimikonhoito. Huuskonen ja Hynynen 2006 toteavat, että taimikonhoidon ajoitus ja voimakkuus vaikuttavat merkittävästi metsikön kehitykseen ja ensiharvennuskertymään.

Huuskonen (2008) toteaa tutkimuksessaan, että männikössä aikainen ja lievä taimikonhoito lisää ensiharvennuskertymää 40 % verrattuna myöhäiseen ja voimakkaampaan taimikonhoitoon.

Harstelan (2006) mukaan taimikonhoito tehdään yleensä tarpeettoman myöhään, mikä lisää kustannuksia. Kailan ym. (2006) mukaan perkaus kannattaa hoitaa ajallaan, sillä jo parin vuoden viivästys lisää työajanmenekkiä 10–42 %. Myös perkauksessa poistettavien runkojen kantoläpimitan kasvu lisää työajanmenekkiä (Kaila ym. 2006).

Saksan ja Miinan (2010) tutkimuksessa runsaasti koivua sisältävän männyn istutustaimikon perkaus osoittautui välttämättömäksi, kun tavoitteena on männikön kasvatus. Kilpailevien lehtipuiden latvonta vähensi piiskausta vain väliaikaisesti, sillä latvotut lehtipuut jatkoivat pituuskasvuun sivuoksasta saavuttaen pian kasvatettavien mäntyjen pituuden. Taimikonhoidon kokonaisajanmenekki oli pienin yksivaiheisessa taimikonhoidossa. Reikä- ja täysperkauksen kokonaisajanmenekkeissä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. Perkaus täysperkauksena tai reikäperkauksena tulee Saksan ja Miinan (2010) tutkimuksen perusteella tehdä sekä mäntyjen elinvoimaisuuden että taimikonhoidon kustannusten kannalta riittävän aikaisin. Oikein ajoitetun kaksivaiheisen taimikonhoito-  
ketjun ajanmenekki ei tutkimuksessa osoittautunut merkittävästi yhden myöhäisen taimikonhoidon (valtapituus 7–8 m) ajanmenekkiä suuremmaksi.

### 3 Tutkimuksen tavoite

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää MenSe-raivauslaitteella varustetulla hakkuukoneella toteutetun koneellisen taimikonhoidon työnjälkeä ja puuntuotannollisia vaikutuksia varttuneessa taimikossa. Tavoitteena oli maastomittauksilla kerättyjen tietojen perusteella laskettuja tuloksia arvioimalla etsiä puustovaurioiden syntyyn liittyviä tekijöitä ja tutkia niiden välisiä yhteyksiä, erityisesti puustovaurioiden ja ajourien välistä mahdollista yhteyttä tarkastelemalla puustovaurioiden esiintymistä eri etäisyyksillä ajourasta. Oleellista oli myös selvittää ajourien takia menetetyn puuntuotannollisen pinta-alan osuus koko alueen pinta-alasta. Taimikonhoitotyön tuloksesta haluttiin saada tietoa puustovaurioiden lisäksi jäävän puuston runkoluvun, puulajisuhteiden ja puiden tilajärjestyksen kautta.

Tutkimukseen oli tarkoitus ottaa mukaan v. 2009 suoritettujen maastomittausten (Strandström 2010) aineistoa soveltuvilta osin (lähinnä ajourien osalta) ja simuloida edellisvuoden mittaustulokset vertailukelpoisiksi tutkimuksen aineistoon.

Tutkimuksen tärkein tarkoitus oli vertailla pienen ja keskiraskaan taimikonhoitokoneen eroja taimikonhoitotyössä syntyvien vaurioiden, ajouravälien sekä ajourien leveyden ja määrän ja sitä kautta urapinta-alan osalta. Samalla oli tarkoitus kerätä tietoa koneyksiköiden ajankäytöstä GPS-paikantimien ja ajopiirtureiden eli ”tärinäkellojen” avulla tuotavuustutkimuksia varten. Koneellisen taimikonhoidon kannattavuuden arviointi ja vertailu manuaaliseen raivaussahatyöhön sekä ajourien puuntuotannollisten vaikutusten arviointi suunniteltiin tehtäväksi kirjallisuustutkimuksena.

Tavoitteena ei alun perin ollut kitkevän taimikonhoitomenetelmän käyttökelpoisuuden tutkiminen tämän työn yhteydessä, mutta aihe tuli mukaan kirjallisuustutkimukseen menetelmän herätettyä mielenkiinnon metsänkasvatusketjun mahdollisesta lyhentämisestä eli varsinaisen taimikonhoidon tekemättä jättämisestä kitkevän varhaisperkauksen yhteydessä.

## 4 Aineisto ja menetelmät

### 4.1 Aineisto

Tähän tutkimukseen valittiin suunnilleen samanikäisiä UPM -konsernin omistamia taimikonhoitokohteita, jotka perattiin ja harvennettiin kesän ja syksyn 2010 aikana. Lisäksi tutkimuksessa oli mukana yksi Metsähallituksen omistama taimikonhoitokuvio. Taimikonhoitokohteita oli tarkoitus saada tutkimukseen 20–30 kappaletta, mutta talven tuloon mennessä ehdittiin viivästysten takia perata vain 19 työmaata. Viivästykset johtuivat metsäkoneenkuljettajien tekemistä muista töistä sekä koneiden korjauksista ja huolloista.

Tutkitut taimikonhoitokohteet sijaitsevat Kuopiossa Nilsiään ympäristössä ja Joensuussa Enon ympäristössä. Nilsiässä työmaita oli viisi ja Joensuussa neljätoista.

Koneellisessa taimikonhoidossa käytettiin kahta erikokoista koneyksikköä. Nilsiässä peruskoneena oli pienempi Sampo-Rosenlew 1046 X -hakkuukone, jonka puomiin oli liitetty MenSe RP 40 -harvennuspää. Alustakoneen leveys oli 2,3 m ja puomin pituus 8,6 m. Joensuussa käytössä oli MenSe RP 80 -harvennuspäällä varustettu keskiraskas Valmet 901 -hakkuukone (kone 2), jonka leveys oli 2,6 m ja puomin pituus 10 m. Harvennuspäiden ominaisuuksia ei vertailtu keskenään, vaan koneyksikköä tarkasteltiin kokonaisuutena. Taimikonhoitolaitteiden ominaisuudet on esitelty kappaleessa 2.2 MenSe-raivauspäät RP 80 ja RP 40.

MenSe RP 40-raivauspäällä varustettua Sampo-Rosenlew 1046 X -hakkuukonetta eli koneyksikköä 1 ajoi kuljettaja 1, joka perkasi Nilsiässä kaikki viisi työmaata. MenSe RP 80 -harvennuspäällä varustettua Valmet 901 -hakkuukonetta eli koneyksikköä 2 ajoi kaksi kuljettajaa, kuljettajat 2 ja 3. Kuljettaja 2 perkasi kaksi ja kuljettaja 3 yksitoista työmaata (taulukko 1).

**Taulukko 1. Koneyksiköiden kokoonpano ja niillä perattujen työmaiden yhteispinta-alat ja kappalemäärät.**

Kone	Malli	Leveys, m	Puomi, m	Laite	Pinta- ala, ha	Työmaita, kpl
Koneyksikkö 1	Sampo Rosenlew 1046 X	2,3	8,6	Mense RP 40	21,8	5
Koneyksikkö 2	Valmet 901	2,6	10	Mense RP 80	40,7	14
Yhteensä					62,5	19



**Kuva 6. Sampo-Rosenlew 1046 X. (Metsäteho, 2010).**



**Kuva 7. Valmet 901 (Metsäteho, 2010).**

Taulukko 2 esittää tutkimuksen työmaakohtaiset perustiedot. Viisi ensimmäistä kohdetta sijaitsi Nilsiässä, loput Enossa. Pääpuulaji oli kuusi muilla paitsi neljällä kohteella. Viidellätoista työmaalla kasvupaikkatyyppi oli tuore kangas, kahdella kuivahko kangas ja yhdellä lehtomainen kangas. Puuston ikä oli keskimäärin viisitoista vuotta ja kasvatettavaa puustoa, jonka keskipituus oli noin viisi metriä ja keskiläpimitta noin viisi senttimetriä, jäi taimikonhoidon jälkeen keskimäärin 2 228 kpl/ha. Poistetun puuston määrä oli keskimäärin 11 049 kpl/ha ja kannoista mitattu poistetun puuston keskiläpimitta 24 mm. Nilsiässä koneyksiköllä 1 poistetun puuston hehtaarikohtainen lukumäärä oli suurempi, keskimäärin 15 251 kpl/ha, kun taas Joensuussa koneyksiköllä 2 poistuma oli keskimäärin 9 549 kpl/ha.

Taulukko 2. Työmaatiedot. Taimikonhoito tehtiin koneyksiköllä 1 työmaille 1–5 ja koneyksiköllä 2 työmaille 6–19.

TYÖMAATIEDOT									
Työmaa	Pinta-ala ha	Pääpuu- laji	Kasvu- paikka	Kasvatettava puusto				Poistuma	
				Ikä v	Lkm. kpl/ha	Keskilpm. cm	Keskipit. dm	Lkm. kpl/ha	Kantolpm mm (ka.)
Kuljettaja 1, koneyksikkö 1									
1	3,9	Ku	MT	15	1 879	4,7	45,0	12 798	20
2	8,8	Ku	MT	9	1 706	2,4	27,8	11 094	20
3	1,8	Ku	OMT	15	2 213	4,4	45,8	17 811	27
4	1,3	Ku	MT	14	2 346	4,3	47,2	23 558	22
5	6,0	Mä	VT	12	2 826	2,4	27,0	10 994	26
Kuljettaja 2, koneyksikkö 2									
6	1,8	Mä	MT	16	1 959	4,4	41,3	13 467	23
7	0,7	Ku	MT	16	2 639	3,3	36,1	14 887	20
Kuljettaja 3, koneyksikkö 2									
8	12,3	Ku	MT	14	1 493	5,3	50,1	7 753	29
9	4,6	Mä	VT	16	3 066	5,5	47,9	7 585	23
10	0,6	Mä	VT	17	2 099	7,6	60,0	9 323	23
11	1,1	Ku	MT	13	2 559	4,9	50,2	8 989	23
12	2,1	Ku	MT	13	2 546	4,6	41,0	5 146	24
13	2,4	Ku	MT	13	1 919	4,9	50,2	6 550	25
14	1,8	Ku	MT	15	2 253	4,5	45,9	8 287	27
15	2,7	Ku	MT	17	2 293	6,6	69,0	10 225	26
16	2,2	Ku	MT	15	2 359	4,6	42,8	7 585	24
17	1,7	Ku	MT	16	1 866	5,4	57,3	8 020	25
18	3,3	Ku	MT	16	2 066	5,7	52,4	12 464	27
19	3,4	Ku	MT	16	2 253	5,0	45,1	13 400	27
Kuljettaja 1, ka.	4,4			13	2 194	3,6	38,6	15 251	23
Kuljettaja 2, ka.	1,3			16	2 299	3,8	38,7	14 177	22
Kuljettaja 3, ka.	3,2			15	2 231	5,4	51,0	8 777	25
Koneyksikkö 1, ka.	4,4			13	2194	3,6	38,6	15 251	23
Koneyksikkö 2, ka.	2,9			15	2 241	5,2	49,2	9 549	25
Kaikki, ka.	3,3			15	2 228	4,8	46,4	11 049	24



Taulukko 3. Työmaiden käsittelyhistoria.

Työmaa	Ala, ha	Pääpuulaji	Kasvupk	Ikä, v	Muokkaustapa	Uudistamistapa	Taimikonhoito	Tpvuosi
1	3,9	Kuusi	MT	15	Laikkumätästys	Istutus	Varhaisperkaus	2004
2	8,8	Kuusi	MT	9	Laikkumätästys	Koneistutus	(Täydennysistutus)	(2003)
3	1,8	Kuusi	OMT	15	Äestys	Istutus	Reikäperkaus	2002
4	1,3	Kuusi	MT	14	Laikkumätästys	Istutus	Varhaisperkaus	2002
5	6	Mänty	VT	12		Kylvö		
6	1,8	Mänty	MT	16	Äestys	Istutus	Varhaisperkaus	2005
7	0,7	Kuusi	MT	16	Auraus	Istutus	Perkaus	2002
8	12,3	Kuusi	MT	14		Istutus	(Täydennysistutus)	
9	4,6	Mänty	VT	16	Äestys	Luontainen	Varhaisperkaus	2005
10	0,6	Mänty	VT	17	Äestys	Luontainen	Perkaus	2002
11	1,1	Kuusi	MT	13	Laikkumätästys	Istutus	Varhaisperkaus	2005
12	2,1	Kuusi	MT	13	Laikkumätästys	Istutus	Varhaisperkaus	2006
13	2,4	Kuusi	MT	13	Äestys ja laikkumätästys	Istutus	Varhaisperkaus	2003
14	1,8	Kuusi	MT	15	Äestys ja laikkumätästys	Istutus	Varhaisperkaus	2003
15	2,7	Kuusi	MT	17	Äestys ja laikkumätästys	Istutus	Varhaisperkaus	2003
16	2,2	Kuusi	MT	15	Äestys ja laikkumätästys	Istutus	Taimikonperkaus	2004
17	1,7	Kuusi	MT	16		Luontainen	Varhaisperkaus	2004
18	3,3	Kuusi	MT	16	Äestys	Istutus	Varhaisperkaus	2004
19	3,4	Kuusi	MT	16	Äestys ja laikkumätästys	Istutus	Varhaisperkaus	2004

Taulukossa 3 on työmaiden käsittelyhistoria. Ennen metsänuudistusta suurimmalla osalla työmaista on tehty maanmuokkauksena äestys ja/tai laikkumätästys. Yhdellä kohteella on tehty auraus ja kolmella maanmuokkauksella ei ole tehty tai siitä ei ole tietoa. Pelkkä äestys on tehty kolmella männyn ja kahdella kuusen uudistusalalla. Pelkkä laikkumätästys on tehty viidellä kuusen uudistusalalla. Sekä äestys että laikkumätästys on tehty viidellä kuusen uudistusalalla ennen taimien istutusta.

Kaksi mäntytaimikkoa ja yksi kuusitaimikko on uudistettu luontaisesti ja yksi mäntytaimikko on perustettu kylvämällä. Loput työmaista on uudistettu istuttamalla. Koneistutettuun kuusentaimikkoon (työmaa 2) on tehty täydennysistutus vuonna 2003. Lisäksi täydennysistutus on tehty yhdellä kuusen istutuskohteella. Muilla työmailla männyn kylvöaluetta lukuun ottamatta on suoritettu varhaisperkaus, joka on yleensä tehty reikäperkauksena, vaikka sitä ei ole taulukossa erikseen mainittu. Varhaisperkaus oli suoritettu 6–11 vuoden ikäisessä taimikossa, enimmäkseen yhdeksän vuoden ikäisessä tai vanhemmassa taimikossa.

Ainoastaan työmailla 2 ja 8 kasvamaan jätetty taimikko ei täyttänyt UPM:n ohjeiden mukaista 1 800 taimen minimitalvokkuutta. Työmaan 2 pääpuulaji on kuusi ja puustotiheys keskimäärin 1 706 kpl/ha. Vesakkoa on poistettu runsaasti. Alue on laikkumätäs-

tetty, siellä on tehty koneistutus ja myöhemmin täydennysistutus. Varhaisperkausta ei ole tehty. Työmaalla 8 pääpuulaji on kuusi ja puustotiheys keskimäärin 1 493 kpl/ha. Tältä kohteelta vesakkoa on poistettu keskimääräistä vähemmän. Alueella on tehty istutus ja täydennysistutus, maanmuokkausta tai varhaisperkausta ei ole tehty.

## **4.2 Aineiston kerääminen ja mittausmenetelmät**

Tutkimuksessa käytetty mittausaineisto kerättiin maastokoealoilta syys-marraskuussa 2010. Kohteilta kerättiin puusto-, poistuma- ja ajouratiedot manuaalisesti kolmelle eriliselle maastolomakkeelle. Maastotietolomakkeet (liitteet 1, 2 ja 3) suunniteltiin aikaisemmissa tutkimuksissa käytettyjen lomakkeiden pohjalta pyrkien säilyttämään vertailukelpoisuus aikaisempaan aineistoon nähden. Vanhoihin maastotietolomakkeisiin tehtiin kuitenkin muutoksia ja lisäyksiä, koska kerätyistä aineistosta haluttiin kattavampi ajouratietojen ja puustovaurioiden osalta.

### **4.2.1 Maastomittausten suoritus**

#### **Linjoittainen koealaotanta**

Koealat on sijoitettu maastoon (systemaattista) linjoittaista koealaotantaa käyttäen. Puusto- ja poistumatiedot mitattiin pääsääntöisesti kuvion pisimmälle halkaisijalle sijoitettavilta ympyräkoealoilta, jotta koko alue tulisi kartoitettua mahdollisimman kattavasti. Linjojen suuntauksessa käytettiin apuna kompassia ja matka koealalta toiselle mitattiin lankamittalaitteella.

Koealalinjan suunnan tuli poiketa ajourien suunnasta, jotta koealat eivät sattuisi systemaattisesti ajouralle tai niiden väliin. Mikäli yksi linja ei riittänyt kattamaan kuvion sisäistä vaihtelua, koealat jaettiin useammalle linjalle.

Alle hehtaarin suuruisilta kuviolta mitattiin 10 ja suuremmilta 15 koealaa. Koealat sijoitettiin linjalle tasavälein. Koealojen välimatkat arvioitiin kuvion koon perusteella. Ensimmäinen koeala sijoitettiin puolen koealavälin päähän kuvion reunasta. Koealan sijoittamisessa on tärkeää, että se sijoitetaan juuri siihen paikkaan, missä laskettu koealaväli tulee täyteen. Koealan keskipisteeseen laitettiin mittauksen ajaksi koealapaalu eli aurausmerkki.

Ajouraleveydet mitattiin samoilta koealalinjoilta linjojen ja ajourien risteyskohdista 10 metriä pitkiltä koealoilta. Ajouraleveyskoealoja pyrittiin mittaamaan vähintään 10 kpl/kuvio. Ajouravälit mitattiin erilliseltä koealalinjalta muiden mittausten jälkeen, jotta käsitys ajourien suunnasta olisi ollut mahdollisimman hyvä. Ajouravälin mittauksessa linja suunnattiin kohtisuoraan vasten ajouria. Yhdeltä kuviolta mitattiin viisi uraväliä. Maastovaurioita eli ajourapainumia ei mitattu, mutta mikäli kohteella oli merkittäviä maastovaurioita, ne kirjattiin lomakkeisiin lisätietona.

#### **4.2.2 Tutkimuksessa käytetyt maastolomakkeet**

Tietojen keräämiseen käytettiin kolmea maastolomaketta: puustotiedot (liite 1), poistumatiedot (liite 2) ja ajourat (liite 3).

Lomakkeet täytettiin jokaisen taimikonhoitotyömaan kaikilta koealoilta. Työmaan nimi, palstan ja kuvion numero ja taimikonhoidon tehnyt yrittäjä sekä mittauspäivämäärä merkittiin jokaiseen lomakkeeseen. Kaikkiin lomakkeisiin kirjattiin myös kuviotietojen mukainen pääpuulaji.

##### **Lomake 1. Puustotiedot kasvatettavista (jäävistä) puista (Liite 1)**

Puustotietolomakkeelle kerättiin tiedot työmaan kasvatettavasta puustosta (jäävä puusto) puulajeittain (mänty, kuusi ja koivu) sekä niiden vaurioista säteeltään 3,99 m suuruiselta ympyräkoevalta. Lisäksi kirjattiin poistettujen kasvatuskelpoisten puiden ja kasvatuskelvottomiksi vaurioituneiden puiden lukumäärät samoilta koealoilta.

Kasvatuskelpoisista puista kirjattiin kultakin koealalta puulajeittain seuraavat tiedot: kasvatuskelpoisten taimien lukumäärä koealalla, puiden keskiläpimitta 1,3 metrin korkeudelta eli pituudeltaan keskimääräisen puun rinnankorkeusläpimitta 0,1 cm tarkkuudella, mitattuna kohtisuoraan koealapaaluun nähden sekä puiden keskipituus eli pituudeltaan keskimääräisen puun pituus yhden desimetrin tarkkuudella.

Puiden pituus arvioitiin käyttäen apuna 3,99 m mittakeppiä. Minimipituutta ei ollut, eli aukkopaikoissa lyhytkin taimi luettiin kasvatuskelpoiseksi, jos se oli terve ja elinvoimainen. Minimietäisyys kasvatuskelpoisten puiden välillä oli vähintään yksi metri. Metriä

lähempänä toisiaan kasvavista puista vain toinen luettiin kasvatuskelpoiseksi. Koealan ulkopuolella olevat kasvatuskelpoiset taimet vaikuttivat koealalta luettavien kasvatuskelpoisten taimien lukumäärään, mikäli niiden keskinäinen etäisyys oli alle yksi metri. Koealalla oleva taimi laskettiin kasvatuskelpoiseksi silloin, kun se oli näistä kahdesta parempi.

Juurivauriot rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle, eli tutkimuksessa keskityttiin metsäkoneen tai raivaimen aiheuttamien lievien tai vakavien runkovaurioiden tarkasteluun. Lievillä vaurioilla tarkoitetaan tässä tutkimuksessa runkovaurioita, jotka eivät todennäköisesti vaikuta taimen kasvatuskelpoisuuteen. Vakavasti vaurioituneet puut ovat kasvatuskelvottomia.

Runkovauriot eriteltiin vaurion aiheuttaneen koneyksikön osan mukaan raivaimen tai alustakoneen aiheuttamiin. Koneen aiheuttaman vaurion voi aiheuttaa mm. rengas tai koneen pohja. Tähän kohtaan kirjattiin vain kasvatuskelpoisiksi luettujen taimien runkovauriot, joista aiheutui laadun alenemaa, eli kun puuainesta oli paljastunut vähintään 1 cm<sup>2</sup>:n alalta tai aina kun puuaineksen pinta oli rikkoutunut.

Turhaan raivaimella poistettujen kasvatuskelpoisten taimien eli kantojen lukumäärä kirjattiin, jos jäävän puuston tiheys jäi liian pieneksi, eli jos koealalle jäi alle yhdeksän puuta (=1 800 kpl/ha).

Vakavien vaurioiden eli kasvatuskelvottomaksi vaurioituneiden puiden lukumäärä koealalla kirjattiin ja myös niistä eriteltiin raivaimen ja koneen aiheuttamat vauriot. Esimerkkejä vakavista vaurioista ovat seuraavat määritelmät: runko lähes tai kokonaan katki, taimi jäänyt pahasti koneen renkaan alle, taimi pahasti kallellaan tai kuori irronnut koko kehän mitalta. Liitteen 4 kuvissa 33 ja 34 esitellään kaksi eri vuodenaikaan mitattua koealaa. Kuvassa 35 (liite 4) on tyypillisiä koneen aiheuttamia lieviä runkovaurioita ja kuvassa 36 (liite 4) näkyy liian lähelle toisiaan kasvamaan jätettyjä puita. Kuvassa 37 on raivaimen aiheuttama ja kuvassa 38 koneen aiheuttama runkovaurio männyssä (liite 4).

## **Lomake 2. Poistumatiedot ja ajouravälit (Liite 2)**

Poistumatietolomakkeelle kerättiin tiedot taimikonhoidon työvaikeustekijöistä työmaalla. Jokaiselta koealalta kirjattiin poistettujen puiden eli kantojen lukumäärä. Poistetut puut luettiin 2,52 m säteiseltä ympyräkoelalta. Alle 0,5 cm paksuisia kantoja ei kirjattu. Kantoläpimitta mitattiin työntömitalla yhden millimetrin mittaustarkkuudella oletetulta katkaisukorkeudelta (noin 15–20 cm) eli samalta korkeudelta, jolta puu olisi raivaushalla katkaistu. Oletetun katkaisukorkeuden yläpuolelta haarautuvat vesat luettiin yhtenä puuna ja vastaavasti sen alapuolelta haarautuneet haarat esiintyvän lukumääränsä mukaisesti. Viiden koealan keskipistettä lähinnä olevan perkauksessa poistetun puun kantoläpimitat mitattiin ja kirjattiin. Ennen mittauksia koealalta poistettiin tarpeen mukaan kaadettu vesakko, jotta kaikki kannot olisivat olleet selvästi havaittavissa.

Poistumatyyppejä oli kolme: mäntyvaltainen, jos männyn osuus oli yli 70 % puustosta kuivalla kankaalla, kuusivaltainen, jos kuusen osuus oli yli 70 % puustosta ja muussa tapauksessa havu-lehtisekapuusto. Kaikkien koealojen poistumatyyppi oli havu-lehtisekapuustoa.

Maastoluokat määritettiin seuraavan kolmiasteisen taulukon mukaan:

1 = normaali, maasto voi haitata jossain määrin työskentelyä

2 = normaalia vaikeampi, maasto vaikeuttaa työskentelyä selvästi enemmän.

3 = erittäin vaikea, maasto vaikeuttaa työskentelyä paljon.

Maastotekijöitä, joiden mukaan maastoluokka määräytyi, olivat kaltevuus, kivisyys, aluskasvillisuus, upottavuus ja muokkausjälki. Suurin osa koealoista määriteltiin maastoluokaltaan normaaliksi.

### ***Poistettava puusto – puusto, joka olisi pitänyt raivata***

Koealoittain kirjattiin poistettavat puut, eli niiden puiden lukumäärä, jotka olisi pitänyt raivata. Enintään metrin päässä kasvatuskelpoisen taimen ympärillä sijainneet vesat tai puut, joiden pituus oli vähintään puolet kasvatuskelpoisen (myös koealan ulkopuolisen) vertailupuun pituudesta laskettiin puiksi, jotka olisi pitänyt raivata. Pensasmaisia pihlajia ei huomioitu.

### ***Koealan etäisyys ajourasta***

Koealan etäisyys ajourasta tarkoittaa tässä tutkimuksessa lyhintä kohtisuoraa etäisyyttä koealan keskipisteestä ajouran keskelle. Mittaus tehtiin lasermittalaitteella mittaamalla lyhin kohtisuora etäisyys ajouran keskilinjalta koealan keskipisteeseen sijoitettuun aurausmerkkiin. Kapean merkkitikun havaittavuutta paransi huomattavasti aurausmerkin yläosaan kiinnitetty valkoinen muovilieriö.

### ***Ajouraväli***

Ajouraväli mitattiin ajouran keskeltä seuraavan ajouran keskelle kohtisuoraan. Etäisyyden mittauksen tarkkuus heikkeni, mikäli tiheän puuston vuoksi mittaus oli tehtävä lankamittalaitteella, mikä oli tilanne useilla tutkimuksen työmaista. Suunniteltu mittaus lasermittalaitteella oli vaikea toteuttaa suurimmassa osassa kohteista, koska kuusikot olivat tiheitä ja kasvamaan jätetyt taimet jo suurikokoisia, keskimäärin viisi metriä korkeita. Kohteissa, joissa näkyvyys oli riittävä, ajouraväli mitattiin lasermittalaitteella mittaamalla kohtisuora etäisyys vierekkäisiltä urilta ajourien väliselle kiintopisteelle, jonka jälkeen mitattiin kohtisuora etäisyys seuraavalta ajouralta samalle kiintopisteelle.

### **Lomake 3. Ajouraleveydet (Liite 3)**

Ajouran leveys mitattiin 10 metrin matkalta kahdella tavalla, ”porttimenetelmällä” (Buchtin menetelmä, menetelmä 1) ja reunapuiden välisenä keskietäisyytenä (Tørån eli NISKin menetelmä, menetelmä 2). Mittaukset suoritettiin lasermittalaitteella 0,01 metrin tarkkuudella.

Menetelmässä 1 mitattiin lähinnä ajouran keskiviivaa sijaitsevan kasvatuskelpoisen puun etäisyys uran keskiviivaan sekä vasemmalta että oikealta puolelta 10 metrin matkalla.

Menetelmässä 2 periaatteena on määrittää reunapuita yhdistävän viivan keskietäisyys ajouran vastakkaisen puolen reunapuita yhdistävään viivaan (tarkemmin kappaleessa 2.3.1 Ajouran leveyden määrittäminen, NISKin menetelmä). Periaate toteutettiin mittaamalla kaikkien 10 metrin matkalla sijaitsevien kasvatuskelpoisten reunapuiden kohtisuora etäisyys ajouran vastakkaisen puolen reunapuita yhdistävään reunaviivaan. Reunaviiva määritettiin vetämällä lankamittalaitteen langalla linja puiden rungolta toiselle 10 met-

rin matkalla. Kuvissa 8 ja 9 on kaksi ajourakoealaa, joilla reunaviivan paikkaa osoittava linja on selkeyden vuoksi vedetty kuitunauhalla rungolta toiselle.



Kuva 8. Ajourakoeala kuusikossa.



Kuva 9. Ajourakoeala männikössä.

#### **4.2.3 Maastomittauksissa käytetty välineistö**

Koealamittauksissa käytetty mittausvälineistö oli yksinkertainen: kompassi, lankamittalaite lankoineen, GT- ja maastokartat mitattavilta alueilta, säänkestävät maastolomakkeet, mittausohje, kyniä, pyyhekumi, kirjoituslasku, karttalaukku, kuitunauhaa, 4-osainen Skogma-kappalelaskuri puiden lukua varten, valkoisella laserkohdetaululla näkyvyyden parantamiseksi varustettu koealan keskipaalu, 2,52 m ja 3,99 m mittaiset mittakepit, työntömitta, digitaalinen Bosch DLE 40 Professional -laseretäisyysmittari, metsurimitta ja rullamitta. Metsurimittaa käytettiin vain mittakeppien päivittäiseen tarkastukseen niiden avauksen yhteydessä ja rullamitta oli mukana varmuuden vuoksi. Mittakeppien kärjet merkittiin punaisella teipillä näkyvyyden parantamiseksi.

#### **4.2.4 Aikatutkimus ja GPS-paikannus**

Metsätehon taimikonperkauskoneisiin asentamista mekaanisista ajopiirtureista, ”tärinäkelloista” saatiin seurantadatana metsäkoneiden ajankäyttötiedot. Täydellinen tärinäkellodata ajankäytöstä saatiin neljältätoista kohteelta ja vajavainen neljältä kohteelta.

Koneyksiköiden liikkeitä ja ajankäyttöä seurattiin koneisiin asennettujen GPS (Global Positioning System) -paikantimien avulla. Kattava paikkatietodata saatiin kolmeltatoista

kohteelta. Kuudelta kohteelta paikkatietodataa ei saatu. Kuljettajat kirjasiivat keskeytysten syyt manuaalisesti. Suurin osa keskeytyksistä johtui koneen huollosta ja korjauksista.

### **4.3 Aineiston käsittely ja tilastollinen testaus**

#### **4.3.1 Maastokoealat**

Työmailta kerättyä koealakohtaisesta tietoa puuston perusparametreistä käytettiin hehtaarikohtaisten tunnuslukujen laskemiseen. Mittaustulosten perusteella laskettiin hehtaarikohtaisia arvoja mm. puuston tiheydelle tai poistettujen, vaurioituneiden, turhaan poistettujen kasvatuskelpoisten tai kasvua häiritsevien poistettavien puiden lukumäärälle. Koealakohtaisista mittauksista laskettiin hehtaarikohtaiset arvot myös vakaville ja lieville runkovaurioille jaoteltuna raivaimen ja koneen aiheuttamiin vaurioihin. Eri tunnusluville laskettiin myös prosentuaalisia osuuksia. Mittaustuloksia jaoteltiin eri tavoin, jotta niitä voitaisiin esittää tarpeen mukaan esimerkiksi koko aineiston laajuisina, työmaa-, kuljettaja- tai konekohtaisesti eriteltynä, puuston tiheysluokittain luokiteltuna tai ajourasta mitattujen etäisyysluokkien mukaan jaoteltuna.

#### **4.3.2 Aikatutkimus ja GPS-paikannus**

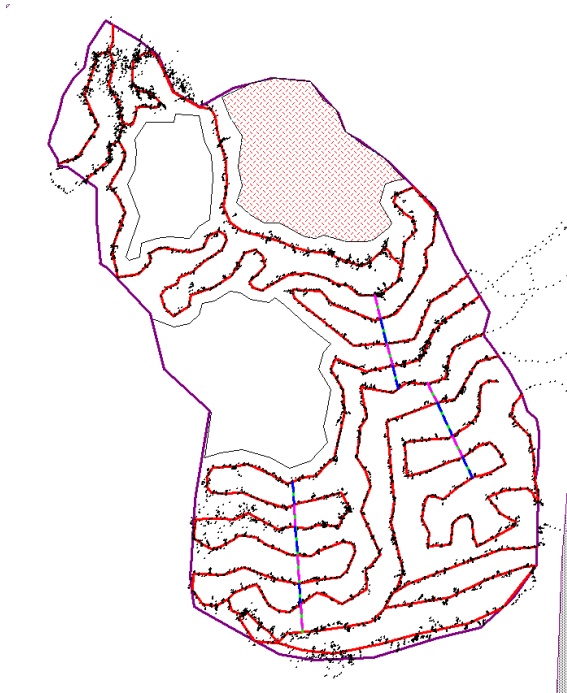
Ajopiirtureilla ja GPS-paikantimilla kerätyn paikkatieto- ja aikatutkimusmateriaalin perusteella selvitettiin työkoneiden kuljettajien ajankäyttö (teholliset työtunnit ja kokonaisajankäyttö) ja koneiden liikkuminen kohteilla (ajourat).

Ajouravälit mitattiin maastotutkimuksen lisäksi kartalta. Kohteelta valittiin joukko mahdollisimman selkeitä, samansuuntaisia ajouria, jotka yhdistettiin ajouriin nähdessä koh-tisuoralla leikkauslinjalla. Leikkauslinjalta mitattiin ajouravälien leveydet.

Matemaattisesti tasoitetusta aineistosta piirrettiin silmämääräisen arvion mukaan kartalle koneen kohteella kulkemat ajourareitit. Tästä ajouraverkosta laskettiin ajourien kokonaispituus kohteilla. Ajouran keskimääräisen leveyden ja pituuden perusteella laskettiin ajouran työmaakohtainen keskimääräinen kokonaispinta-ala.



Kuvaan 10 on piirretty työmaan ajourat (644 m/ha) tasoitettun aineiston paikkatietopisteitä karttapohjalla yhdistämällä. Uraväli on karttamittauksen mukaan keskimäärin 16,5 m (n=14) ja maastomittauksen perusteella 19,3 m (n=6). Kartalta ajouravälit on mitattu ajourat kohtisuoraan leikkaavien katkoviivojen kohdalta. Uraleveys 1 (Bucht) on keskimäärin 2,8 m, uraleveys 2 (NISK) 3,6 m ja puuntuotannollinen uraleveys 1,8 m.



**Kuva 10.** Esimerkki koneyksikön 1 ajouraverkosta työmaalla 5. Kuvassa näkyy kolme pois rajattua manuaalisen taimikonhoitotyön aluetta (1 rasteroitu ja 2 valkoista aluetta).

Metsäkoneilla kerätty paikkatietoaineisto digitoitiin kartalle Mapinfo Professional 9.5 -ohjelmalla. GPS-paikantimilla koneyksikköjen sijainnista kerätyt pistemäiset paikkatiedot yhdistettiin aluksi tulkittavaan muotoon tilastollista tasoitusta käyttäen. Tasoitus tehtiin havaintoparven mediaanina, yhdistäen pisteet ensimmäisessä vaiheessa 10 sekunnin ja toisessa vaiheessa minuutin aikajaksolta. Tasoitus oli välttämätöntä, jotta häiritsevät satelliittigeometriasta tai maaston ja tiheän puuston aiheuttamasta signaalin heikkoudesta johtuvat häiriöt saatiin karsittua aineistosta. Osa kolmesta Nilsin työmaan taimikosta perattiin metsurityönä, ja näin käsitellyt alueet rajattiin tässä vaiheessa pois tutkimuksen piiristä eristämällä alue pois kuviokartalta.

### 4.3.3 Ajourien ja puustovaurioiden välinen yhteys

Tutkimuksessa etsittiin mahdollista ajourien ja puustovaurioiden välistä yhteyttä eri tavoin. Ensimmäisessä vaiheessa koealat luokiteltiin ajouralla tai ajourien välisellä alueella sijaitseviin. Näin luokitellulle koealojen jäävälle puustolle laskettiin työmaakohtaiset keskiarvot (kpl/ha). Koeala laskettiin kuuluvaksi ajouran vaikutuspiiriin, mikäli sen etäisyys ajourasta oli pienempi kuin raja-arvo. Muussa tapauksessa koeala oli ajourien välissä. Raja-arvon kaava (2) laskettiin seuraavasti:

$$\begin{aligned} &\textbf{Raja-arvo} && (2) \\ &= \textbf{Mitattujen ajouraleveyksien (NISK) työmaakohtainen keskiarvo (m)/2} \\ &+ \textbf{koealan säde 3,99 (m)} \end{aligned}$$

Runkovaurioiden esiintymistä eri etäisyyksillä ajourien keskilinjasta voi mitata suoraan koealan etäisyytenä ajouran keskilinjasta, mutta silloin osittain tai kokonaan ajouralla sijaitsevien koealojen vauriopuiden osuus verrattuna ajouralla sijaitsemattomiin koealoihin alipainottuu, sillä ajouralla sijaitsevilla koealoilla kasvavien puiden käytössä on vain osa koealan koko pinta-alasta, josta osa on ajoura-aukkoa. Jotta saataisiin tarkempi kuva puuston vaurioitumisasteesta eri etäisyyksillä ajourista, on pinta-aloja korjattava, jotta ne antaisivat paremman kuvan todellisesta tilanteesta.

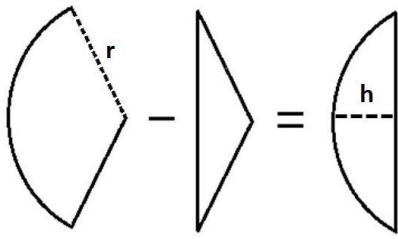
Ajouralla osittain tai kokonaan sijaitsevien ympyräkoalojen pinta-aloista erotettiin se osa, joka jää puuntuotannollisen ajouran ulkopuolelle ja on siis käytettävissä kasvutilana koealalta luetuille puille. Pinta-alojen laskennassa käytettiin segmentin laskentakaavaa (3). Segmentin pinta-ala (A) saadaan, kun koko sektorin pinta-alasta vähennetään sektoriin sisältyvän kolmikulmaisen osan ala (ks. kuva 11):

$$A = r^2 \arccos(1 - h/r) - (r - h) \sqrt{2rh - h^2} \quad (3)$$

jossa:

h = segmentin korkeus

r = säde



Kuva 11. Havaintoesitys segmentin pinta-alan laskemisesta.

Ajouran vaikutuspiiriin osuneen koealan kasvutila jakautuu yhteen tai kahteen segmenttiin. Laskenta tehtiin erikseen molemmille puolille uraa. **Puiden kasvutilana käytettävissä olevan segmentin pinta-ala** laskettiin Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmalla. Excel-laskentakaavat segmenttien korkeuksia varten on esitetty kaavoissa (4 ja 5). MAKS-funktio estää virheilmoitukset tilanteessa, jossa jommankumman tai molempien segmenttien korkeus on negatiivinen, eli koeala ei ulotu ajouran ulkopuolelle.

#### **Segmentin 1 korkeus** (4)

$$h_1 = \text{MAKS}(0; 2*r - \text{MAKS}(0; r - h_a + h_b/2))$$

$h_a$  = koealan keskipisteen etäisyys uran keskilinjasta

$h_b$  = puuntuotannollinen ajouran leveys

$r$  = koealan säde (3,99 m tai 2,52 m käytetyn koealan pinta-alasta riippuen)

#### **Segmentin 2 korkeus** (5)

$$h_2 = \text{MAKS}(0; 2*r - \text{MAKS}(0; r + h_a + h_b/2))$$

#### **Segmentin 1 pinta-ala**

$$A_1 = r^2 * \text{ACOS}(1 - h_1/r) - (r - h_1) * \text{NELIÖJUURI}(2*r*h_1 - h_1^2) \quad (6)$$

#### **Segmentin 2 pinta-ala**

$$A_2 = r^2 * \text{ACOS}(1 - h_2/r) - (r - h_2) * \text{NELIÖJUURI}(2*r*h_2 - h_2^2) \quad (7)$$

$h_1$  = segmentin 1 korkeus

$h_2$  = segmentin 2 korkeus

$r$  = koealan säde (3,99 m tai 2,52 m käytetyn koealan pinta-alasta riippuen)

Kun laskettiin yhteen molemmilla segmentin korkeuksilla lasketut pinta-alat (Microsoft Excel-laskentakaavat 6 ja 7), saatiin **puiden kasvutilana käytettävissä olevan segmentin pinta-ala**.

#### 4.3.4 Tutkimuksessa käytetyt ohjelmat ja aineiston tilastollinen testaus

Tutkimusaineistosta tehdyt kuvat ja taulukot luotiin Microsoft Office Excel 2007 -taulukkolaskentaohjelmalla lukuun ottamatta kuvaa 10 joka tehtiin Mapinfo Professional 9.5 -ohjelmalla. Mapinfo-ohjelmaa käytettiin aineiston esikäsittelyssä ja muokkauksessa, Exceliä tulosten laskennassa. Aineiston luotettavuutta ja muuttujien välisiä korrelaatioita arvioitiin käyttämällä PASW 18.0 -ohjelman (IBM SPSS) tilastollisia analysointityökaluja. Liitteessä 7 on muutamien aineistossa esitettyjen muuttujien tilastollisia tunnuslukuja.

## 5 Tulokset

### 5.1 Ajourat

Buchtin menetelmällä määritetty ajouraleveys on noin 20 % kapeampi kuin NISKin menetelmällä (taulukko 4). Pienemmällä koneyksiköllä 1 uraleveys (NISK) oli keskimäärin 3,4 m ja keskiraskaalla koneyksiköllä 2 keskimäärin 4 m.

Taulukko 4. Keskimääräinen ajouraleveys mitattuna Buchtin ja NISKin menetelmillä sekä keskimääräinen uraväli maastossa ja kartalta mitattuna ja eriteltyä kuljettajakohtaisesti ja molemmille koneyksiköille.

Työmaa	Ajouraleveys, m		Puuntuot. uralev. m	Uraväli, maasto m	Uraväli kartta m
	Bucht	Nisk			
Kuljettaja 1, ka.	2,8	3,4	1,2	16,4	15,9
Kuljettaja 2, ka.	3,3	4,3	2,2	16,0	
Kuljettaja 3, ka.	3,3	3,9	1,8	18,0	18,3
Koneyksikkö 1, ka.	2,8	3,4	1,2	16,4	15,9
Koneyksikkö 2, ka.	3,3	4,0	1,8	17,7	18,3
Kaikki, ka.	3,2	3,8	1,7	17,4	17,4

Maastossa ajouravälit on mitattu jokaiselta työmaalta (n = 19), kartalta ajouravälit on mitattu 13 kohteelta. Kartalta mitatut ajouravälit puuttuvat tai ovat puutteellisia kuudelta työmaalta, mm. kuljettajalta 2 ei ole saatavilla lainkaan kartalta mitattuja ajouravälejä. Taulukossa 4 esitetyt luvut on laskettu työmaakohtaisista keskiarvoista. Työmaa-

kohtaiset keskiarvot ovat liitteessä 5. Kartalta ja maastossa mitatut uravälit ovat keskimäärin 17,4 m. Maastossa mitattu uraväli on koneyksiköllä 1 keskimäärin 1,4 m kapeampi ja kartalta mitattu keskimäärin 2,4 m kapeampi kuin koneyksiköllä 2. Koneyksiköllä 1 maastossa mitattu ajouraväli oli keskimäärin 16,4 m ja keskiraskaalla koneyksiköllä 2 keskimäärin 17,7 m.

Maastossa mitatun ajouravälin keskiarvo oli PASW18-ohjelmalla laskettuna 17,32 m (n = 109, SE = 0,315, vaihteluväli 16,69–17,94). Kartalta mitatun ajouravälin keskiarvo oli 17,15 m (n = 172, SE = 0,29, vaihteluväli 16,58–17,71). Ero taulukon ja PASW18-tilasto-ohjelman keskiarvoissa johtuu siitä, että taulukossa käytettiin työmaakohtaisia keskiarvoja kokonaiskeskiarvon laskennassa ja PASW18-ohjelmalla laskettiin jokaisen koealan keskiarvo.

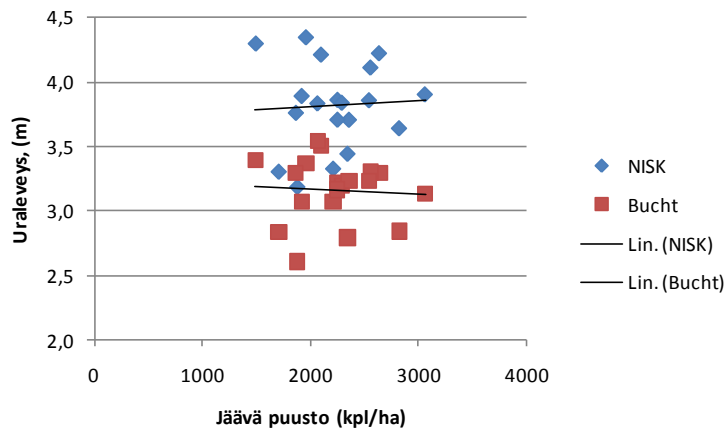
Taulukko 5. Ajouran ja puuntuotannollisen leveyden pituus ja pinta-ala.

	Ajouran pituus, m/ha	Ajouran pinta-ala, m <sup>2</sup> /ha		
		Bucht	Nisk	Puuntuotannollinen
<b>Koneyksikkö 1</b>	758	2 154	2 565	930
<b>Koneyksikkö 2</b>	609	1 994	2 339	1 080
<b>Ka.</b>	<b>671</b>	<b>2 060</b>	<b>2 433</b>	<b>1 017</b>

Ajouraa on koko taimikonhoitoalueella keskimäärin noin 670 m/ha ja ajouran pinta-alan osuus koko pinta-alasta (62,5 ha) on keskimäärin noin 21 % Buchtin menetelmän ja 24 % NISKin menetelmän mukaisilla ajouraleveyksillä (taulukko 5). Puuntuotannollisen ajouran osuus koko pinta-alasta on noin 10 %.

Pienemmän koneyksikön 1 leveys on 2,3 m (taulukko 1) ja tässä tutkimuksessa sen korjuutekninen ajouraleveys eli ajouran tavoiteleveys (Bucht) oli keskimäärin 2,8 m, jolla laskettuna sen taimikonhoidossa tarvitseman ajouran osuus koko alueen pinta-alasta on noin 22 % (taulukko 5). Keskiraskaalla koneyksiköllä 2 (leveys 2,6 m) keskimääräinen korjuutekninen ajouraleveys on 3,3 m (Bucht) ja ajouran osuus koko pinta-alasta noin 20 %. Puuntuotannollisen ajouran pinta-alan osuus on koneyksiköllä 1 keskimäärin 9 % ja koneyksiköllä 2 keskimäärin 11 % koko pinta-alasta.

## 5.2 Kahden eri tutkimusaineiston ajouratietojen yhdistäminen



Kuva 12. Buchtin ja NISKin menetelmällä mitattujen uraleveyksien (m) ja jäävän puuston tiheyden (kpl/ha) välinen suhde.

Aikaisemmassa tutkimuksessa (Strandström 2010) ajouravälit mitattiin vain Buchtin menetelmällä, jota käytetään ajouran korjuuteknisen leveyden määrittämiseen. Ajouran puuntuotannollinen leveys laskettiin tässä tutkimuksessa Niemistön (1992) kaavalla (1). Laskennassa käytettiin NISKin menetelmällä mitattua ajouran ulkoleveyttä. Eri tavalla määritettyjen ajouraleveyksien välistä eroa selvitettiin vertailemalla uraleveyksien ja jäävän puuston välistä suhdetta (kuva 12).

NISKin menetelmällä mitattu ajouraleveys on keskimäärin 65 cm Buchtin menetelmällä mitattua suurempi, joten tätä erotusta käytettiin muutettaessa edellisvuoden aineisto (summaamalla luku 65 cm Buchtin menetelmällä mitattuun ajouraleveyteen koelakoh- taisesti) vertailukelpoiseksi tämän tutkimuksen aineiston kanssa. Puuntuotannollinen ajouraleveys oli tämän tutkimuksen aineistosta suoraan laskettuna keskimäärin 1,67 m, mutta laskennallisesti Buchtin ajouraleveydestä johdettuna keskimäärin 1,65 m. Mitatun ja em. tavalla lasketun puuntuotannollisen leveyden ero oli keskimäärin 2 cm.

Yhdistetyssä aineistossa ajouran puuntuotannollinen leveys on keskimäärin 1,58 m kun tämän tutkimuksen todellinen mitattu aineisto oli mukana. Strandströmin (2010) aineis- tossa Buchtin ajouraleveydestä johdettu laskennallinen ajouran puuntuotannollinen leveys on keskimäärin 1,3 m. Strandströmin (2010) aineistossa oli käytössä samat ko-

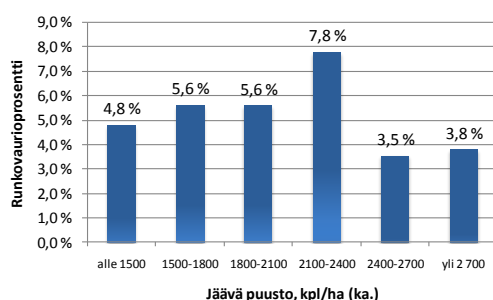
neyksiköt (taulukossa 6 kone II ja kone III) kuin tämän tutkimuksen aineistossa (ks. taulukko 1) sekä lisäksi kooltaan hieman tässä tutkimuksessa käytettyä konetta pienempi MenSe RP 40 -raivauspäällä varustettu Sampo Rosenlew 1046 X, jonka leveys on 2,2 m ja puomin pituus 7,1 m (taulukossa 6 kone I).

**Taulukko 6. Yhdistetyn aineiston ajouraleveydet ja puuntuotannollinen leveys.**

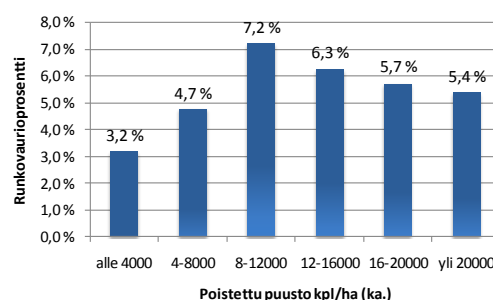
Yhdistetty aineisto	Uraleveys (Bucht), m	Uraleveys (NISK), m	Puuntuotann. leveys, m
Kone I	2,6	3,3	0,4
Kone II (= koneyksikkö 1)	2,9	3,5	1,2
Kone III (= koneyksikkö 2)	3,4	4,0	1,9
Keskiarvo	3,2	3,8	1,6

Taulukossa 6 on yhdistetystä Kallioniemen (2011) ja Strandströmin (2010) aineistosta työmaakohtaisina keskiarvoina laskettu keskimääräinen ajouraleveys mitattuna Buchtin ja NISKin menetelmillä sekä ajouran keskimääräinen puuntuotannollinen leveys. Strandströmin (2010) aineistoon NISKin ajouraleveys on määritetty laskennallisesti. Yhdistetyn aineiston ja tämän tutkimuksen keskimääräiset ajouraleveydet samoilla koneilla eivät juurikaan eroa toisistaan.

### 5.3 Tiheysluokan ja vaurioprocentin yhteys



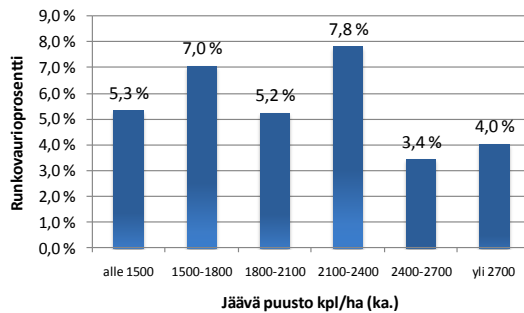
**Kuva 13. Runkovaurioprocentti jäävän puuston tiheysluokittain.**



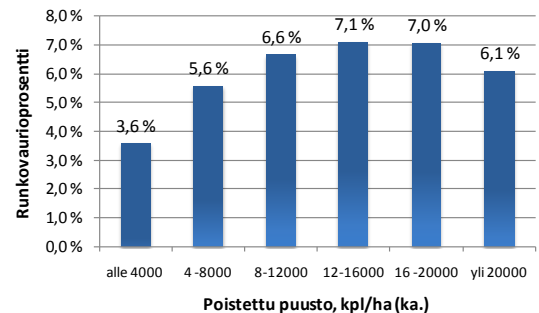
**Kuva 14. Runkovaurioprocentti poistetun puuston tiheysluokittain.**

Jäävän puuston määrän (kuva 13) ei havaittu korreloivan vaurioprocentin kanssa ( $r = -0,066$ ,  $p = 0,276$ ,  $N = 275$ ). Korrelaatiota ei ollut myöskään (kuva 14) runkovaurioprocentilla ja poistetun puuston määrällä ( $r = 0,088$ ,  $p = 0,146$ ,  $N = 275$ ). Vaurioprocentti

kasvaa jäävän puuston tiheyden kasvaessa tiheysluokkaan 2 100–2 400 kpl/ha asti, ja sitä tiheämmissä luokissa vaurioprosentti laskee noin puoleen. Poistetun puuston keskimääräisen hehtaarikohtaisen lukumäärän kasvaessa runkovaurioprosentti kasvaa tiheysluokkaan 8 000–12 000 kpl/ha asti, jonka jälkeen runkovaurioprosentin vaihtelu alenee hieman ja tasaantuu (kuva 14).



**Kuva 15. Runkovaurioprosentti jäävän puuston tiheysluokittain yhdistetyssä vuosien 2009 ja 2010 aineistossa.**



**Kuva 16. Runkovaurioprosentti poistetun puuston tiheysluokittain yhdistetyssä vuosien 2009 ja 2010 aineistossa.**

Kuvassa 15 on vertailun vuoksi esitetty yhdistetyn, vuosina 2009–2010 kerätyn aineiston runkovaurioprosentin ja jäävän puuston tiheysluokkien välinen yhteys ja kuvassa 16 yhdistetyn aineiston tiheysluokitellun poistetun puuston suhde runkovaurioprosenttiin. Aineistot eivät ole runkovaurioiden osalta täysin vertailukelpoisia keskenään, mutta virheen mahdollisuus runkovaurioluokittelun yhteydessä on pieni.

#### 5.4 Segmenttikorjatut koealojen pinta-alat

Kun lasketaan runkovaurioprosentteja eri etäisyysluokissa ajouran keskipisteestä, on otettava huomioon, että lähellä ajouraa sijaitsevien koealojen pinta-aloihin sisältyy jonkin verran ajouran pinta-alaa. Mikäli vaurioprosentteja eri etäisyysvyöhykkeillä sijaitsevien koealojen välillä verrataan suoraan, saadaan aliarvio lähellä ajouraa eli 0–3 m vyöhykkeellä sijaitsevista vaurioista. Tässä tutkimuksessa laskettiin segmentin (kaava 3, kappale 4.3.3) kaavaa soveltaen todelliset kasvatettavan puuston käytössä olevat pinta-alat (osittain) ajouralla sijaitseville koealoille vähentämällä koealalla sijaitsevan puuntuotannollisen ajouran pinta-ala pois koealan-pinta-alasta (ks. kappale 4.3.3 Ajourien ja puustovaurioiden välinen yhteys). Näin vertailtavaksi saatiin todelliset kasvamaan jätet-



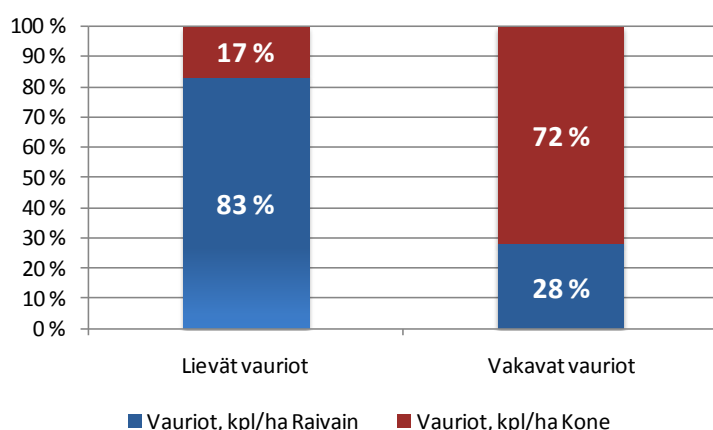
tyjen puiden käytössä olevat pinta-alat, joita on käytetty kuvissa, joissa on etäisyysluokitus ajouran keskipisteestä. Etäisyys ajouraan ja runkovaurioprocentti korreloivat keskenään ( $r = -0,128$ ,  $p = 0,034$ ,  $n = 275$ ) siten, että runkovaurioprocentti pienenee, kun etäisyys ajourasta kasvaa.

Tässä tutkimuksessa segmenttikorjattuja koealojen pinta-aloja on käytetty etäisyysluokiteltujen kuvien keskimääräisiä hehtaarikohtaisia kappalemääriä laskettaessa.

## 5.5 Puustovauriot

Kaikkien tutkimuksessa mukana olleiden työmaiden keskimääräinen runkovaurioprocentti eli lievien vaurioiden osuus oli 5 % (taulukko 7). Lievistä runkovaurioista noin 80 % on raivaimen aiheuttamia (kuva 17). Vakavia runkovaurioita syntyi keskimäärin yhdelle prosentille jäävästä puustosta. Raivain aiheutti noin 30 % ja kone 70 % vakavista vaurioista (kuva 17).

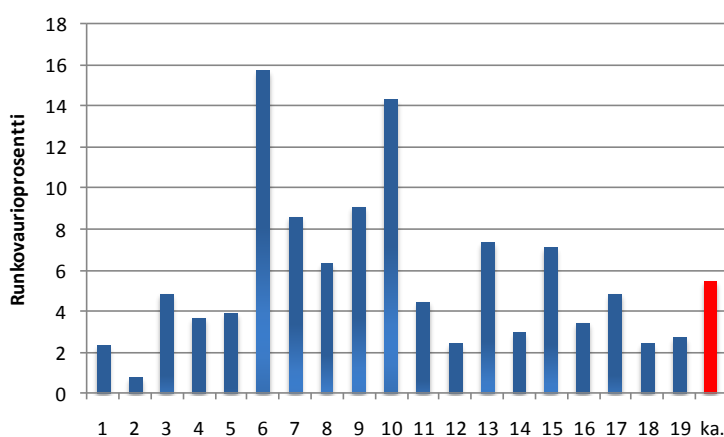
Koneiden väliset vaurioprocentit eroavat toisistaan huomattavasti (taulukko 7). Kuljettaja yksi ajoi koneyksikköä 1 ja kuljettajat 2 ja 3 koneyksikköä 2. Kuljettajalla 2 on huomattavasti suurempi keskimääräinen runkovaurioprocentti (12 %) kuin kuljettajalla 1 (3 %) ja 2 (6 %), mikä huonontaa koneyksikön 2 keskimääräistä vaurioprocenttia (6 %) koneyksikön 1 vaurioprocenttiin (3 %) verrattuna.



Kuva 17. Lievien ja vakavien runkovaurioiden jakautuminen raivaimen ja koneen aiheuttamiin vaurioihin.

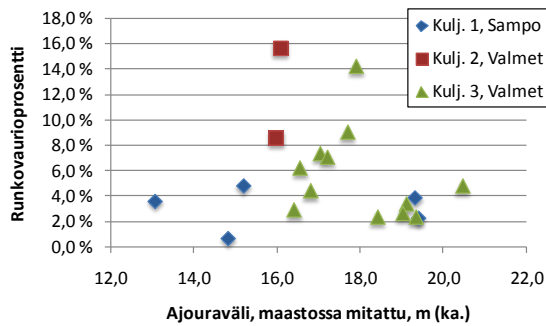
Taulukko 7. Puustovauriot kuljettajittain ja koneyksiköittäin. Taulukossa keskimääräinen vaurioprosentti on ”Ka.” ja sen vieressä on ilmoitettu raivaimen ja koneen osuus kaikista vaurioista. Sarakkeessa ”Turhaan poist.” on turhaan poistettujen kasvatuskelpoisten puiden keskimääräinen hehtaarikohtainen lukumäärä ja sarake ”Poistettavat” kertoo kuinka monta kasvamaan jätettyjen taimien kasvua häiritsevää puuta (kpl/ha) olisi pitänyt keskimäärin poistaa.

Työmaa	Kasvatettavat Kpl/ha	Lievät v., kpl/ha		Vakavat v., kpl/ha		Vakavat ja lievät vauriot yht., kpl/ha					Vaurioprosentti (%)			Turhaan.poist. Kpl/ha	Poistettavat Kpl/ha
		Raivain	Kone	Raivain	Kone	Yht.	Lievät v.	Vakavat v.	Raivain	Kone	Ka.	Raivain	Kone		
Kuljettaja 1, ka.	2 194	35	32	19	13	99	67	32	53	45	3	54	46	77	281
Kuljettaja 2, ka.	2 299	247	10	0	27	283	257	27	247	37	12	87	13	90	702
Kuljettaja 3, ka.	2 231	106	17	7	27	157	123	34	112	44	6	72	28	91	160
Koneyksikkö 1, ka.	2 194	35	32	19	13	99	67	32	53	45	3	54	46	77	281
Koneyksikkö 2, ka.	2 241	126	16	6	27	175	142	33	131	43	6	75	25	90	237
Kaikki, ka.	2 228	102	20	9	24	155	122	33	111	44	5	72	28	87	249

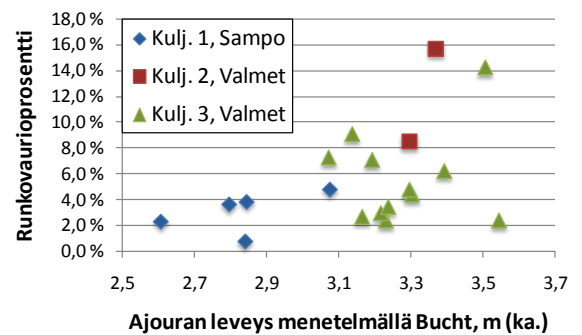


Kuva 18. Työmaakohtaiset runkovaurioprosentit.

Runkovaurioprosentti (laskettu lievien runkovaurioiden keskiarvona) vaihtelee huomattavasti työmaittain (kuva 18). Kuljettaja 1 on tehnyt taimikonhoidon työmaille 1–5, kuljettaja 2 työmaille 6–7 ja kuljettaja 3 työmaille 8–19. Keskimäärin 5 %:lle jäävästä puustosta syntyi taimikonhoidon yhteydessä lieviä runkovaurioita. Lievästi vaurioituneita puuta oli keskimäärin 122 kpl/ha.

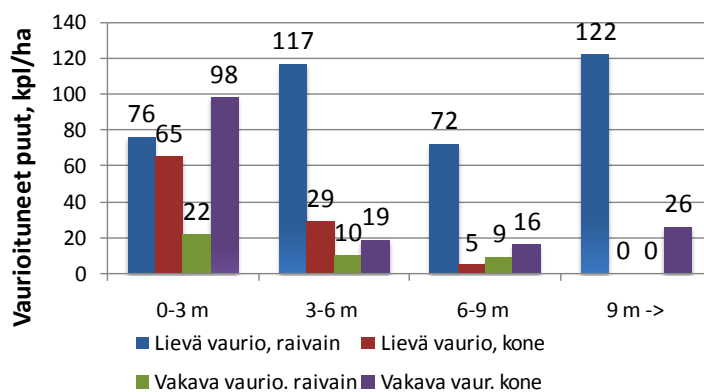


Kuva 19. Kuljettajakohtaiset runkovaurioprocentit työmaittain maastossa mitatun ajouravälin (m) suhteen.



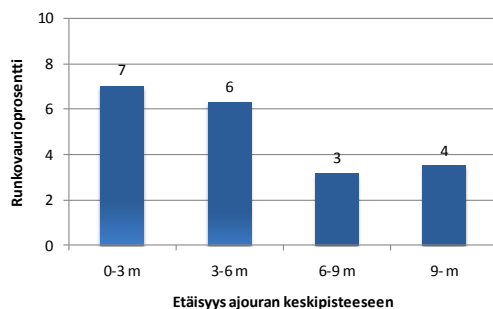
Kuva 20. Kuljettajakohtaiset runkovaurioprocentit työmaittain Buchtin menetelmällä määritetyn ajouraleveyden (m) suhteen.

Maastossa mitatun ajouravälin muutoksella ei ole kuvan 19 perusteella havaittavissa selkeää yhteyttä runkovaurioprocentin muutoksiin, eikä tilastollisessa analyysissäkään havaittu korrelaatiota ( $r = -0,076$ ,  $p = 0,434$ ,  $n = 109$ ). Kuvassa 20 on käytetty maastossa mitattuja ajouravälejä, jotka olivat saatavissa kaikilta työmailta. Pienemmän koneyksikön 1 ajouraväli ja ajouraleveys ovat keskimäärin pienemmät kuin keskiraskaan koneyksikön 2. Ajouraleveyden (Bucht) ja vaurioprocentin välille ei löytynyt korrelaatiota ( $r = 0,150$ ,  $p = 0,55$ ,  $n = 164$ ). Sen sijaan ajouraleveyden (NISK) ja runkovaurioprocentin välille löytyi positiivinen korrelaatio ( $r = 0,263$ ,  $p = 0,001$ ,  $n = 164$ ), mikä tarkoittaa, että ajouraleveyden kasvaessa runkovaurioprocentti pienenee.

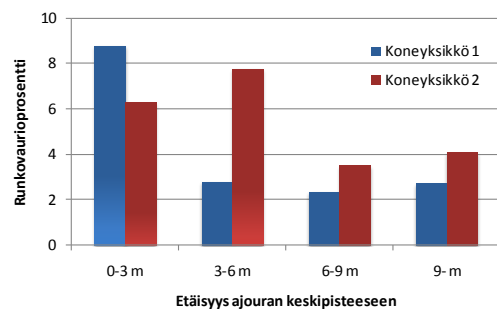


Kuva 21. Eri vauriotyyppien esiintyminen eri etäisyysluokissa ajouran keskipisteestä laskien (kpl/ha).

Vakavia koneen aiheuttamia runkovaurioita esiintyy 3–6 m etäisyydellä ajourasta keskimäärin alle puolet 0–3 m vyöhykkeellä sijaitsevien vaurioiden määrästä (kuva 21). Raivaimen aiheuttamien vakavien vaurioiden määrä alenee myös etäisyyden ajourasta kasvaessa. Raivaimen aiheuttamien lievien vaurioiden määrä vaihtelee ilman selkeää suuntaa. Koneen aiheuttamien lievien vaurioiden määrä laskee etäisyyden ajourasta kasvaessa. Kaikkien vaurioiden (lievät ja vakavat) yhteenlaskettu keskimääräinen lukumäärä pienenee, kun etäisyys ajourasta kasvaa.



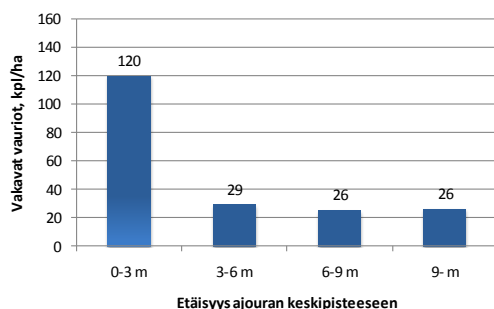
Kuva 22. Runkovaurioprosentti etäisyysluokittain ajouran keskipisteestä laskien.



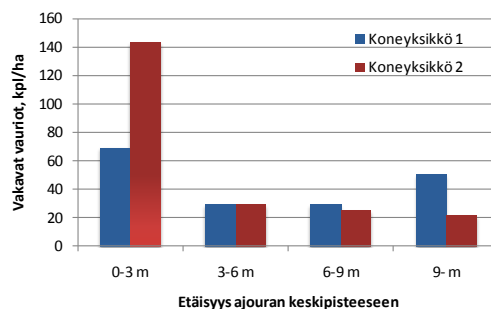
Kuva 23. Runkovaurioprosentti etäisyysluokittain ajouran keskipisteestä laskien eri koneyksiköillä.

Runkovaurioprosentti laskee etäisyyden ajourasta kasvaessa 6–9 m etäisyysluokkaan asti (kuva 22). Koneyksiköiden runkovaurioprosenteissa on eroa eri etäisyysluokissa ajuralta (kuva 23). Koneyksiköllä 1 runkovaurioprosentti laskee aluksi voimakkaasti ja tasaantuu sitten, koneyksiköllä 2 runkovaurioprosentti on korkeampi 2–6 m etäisyysvyöhykkeellä ajourasta kuin lähempänä ajouraa. Kauemmas mentäessä runkovaurioprosentti laskee myös koneyksiköllä 2 lähelle koneyksikön 1 tasoa, vaikka jääkin hieman sitä korkeammaksi.

Vakavien runkovaurioiden hehtaariohtainen lukumäärä (keskimäärin 33 kpl/ha) laskee voimakkaasti siirryttäessä etäisyysvyöhykkeeltä 0–3 m etäisyysvyöhykkeelle 3–6 m ja tasaantuu sitten (kuva 24). Molemmilla koneyksiköllä suunta on samanlainen, mutta koneyksiköllä 2 lähinnä ajouraa sijaitsevalla vyöhykkeellä vakavien runkovaurioiden keskimääräinen hehtaariohtainen lukumäärä on yli kaksi kertaa suurempi kuin koneyksiköllä 1 (kuva 25). Etäisyysvyöhykkeellä 3–6 m ajourasta molempien koneyksiköiden vakavien runkovaurioiden lukumäärä on samalla tasolla.



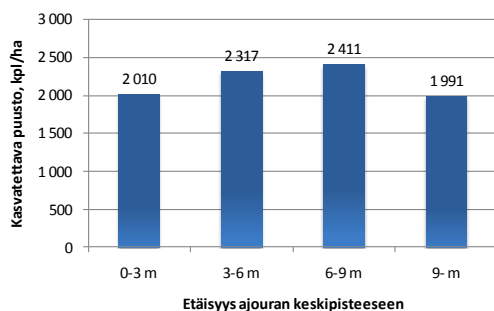
Kuva 24. Vakavat runkovauriot (kpl/ha) etäisyysluokittain ajouran keskipisteestä laskien.



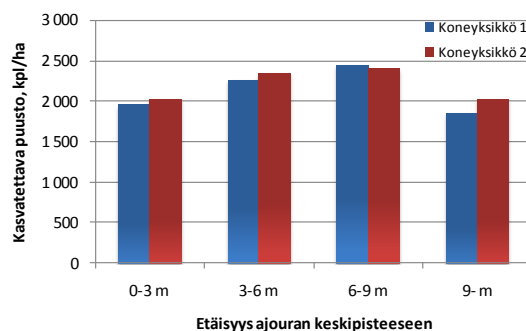
Kuva 25. Vakavat runkovauriot (kpl/ha) etäisyysluokittain ajouran keskipisteestä laskien eri koneyksiköillä.

## 5.6 Puuston tilajärjestys

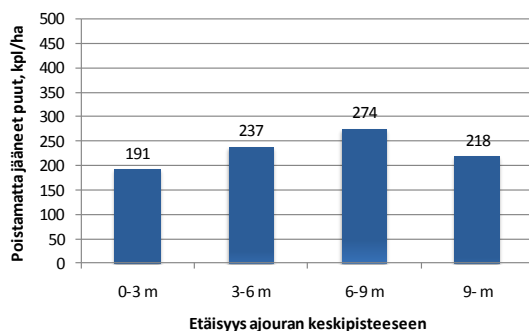
Jäävän puuston keskimääräinen tiheys on keskimäärin 2 010 kpl/ha lähimpänä ajouraa sijaitsevalla vyöhykkeellä (0–3 m) ja kasvaa ajouralta kauemmas siirryttäessä 6–9 m vyöhykkeelle asti. (kuva 26). Koneyksiköiden välinen ero keskimääräisen tiheyden vaihtelussa etäisyysluokittain on pieni (kuva 27).



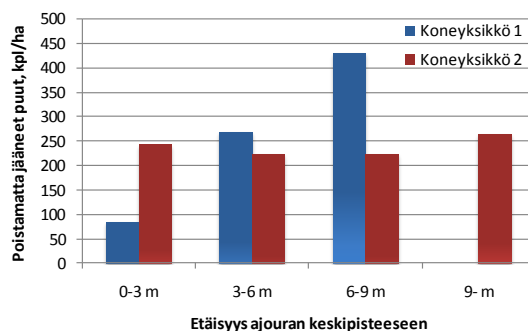
Kuva 26. Jäävän puuston tiheys etäisyysluokittain ajouran keskipisteestä.



Kuva 27. Jäävän puuston tiheys konekohtaisesti etäisyysluokittain ajouran keskipisteestä.



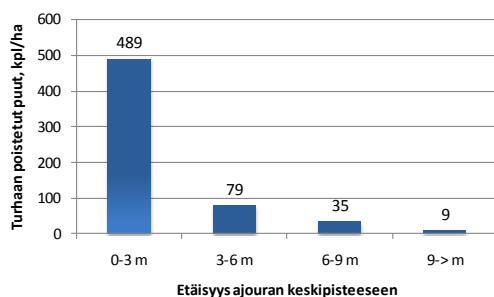
Kuva 28. Poistettavat puut kpl/ha etäisyysluokittain ajouran keskipisteestä.



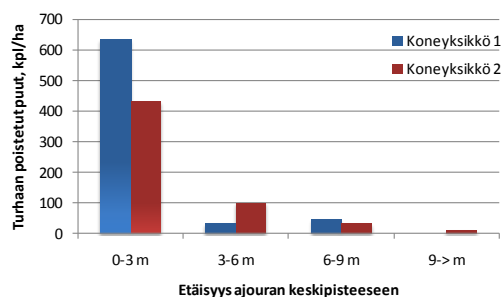
Kuva 29. Poistettavat puut kpl/ha konekohtaisesti etäisyysluokittain ajouran keskipisteestä.

Lähimpänä ajouraa sijaitsevalla (0–3 m) vyöhykkeellä poistettavien puiden eli poistamatta jääneiden kasvua haittaavien puiden määrä on pienin ja niiden lukumäärä lisääntyy 6-9 m vyöhykkeelle asti (kuva 28). Poistettavien puiden lukumäärässä on huomattava ero eri koneyksiköiden välillä (kuva 29). Pienemmällä koneyksiköllä 1 on poistettavia puita jäänyt keskimäärin 83 kpl/ha lähellä ajouraa sijaitsevalle vyöhykkeelle. Poistettavien puiden keskimääräinen lukumäärä kasvaa voimakkaasti siirryttäessä kauemmas ajourasta ja 6-9 m vyöhykkeellä poistettavia puita on jäänyt keskimäärin 430 kpl/ha, mikä on lähes kaksinkertainen määrä koneyksikköön 2 verrattuna. Keskiraskaalla koneyksiköllä 2 poistettavien puiden määrä pysyy melko tasaisena kaikissa etäisyysluokissa vaihdellen välillä 223–264 kpl/ha (ka.).

Poistettavia puita jäi perkaamatta keskimäärin 11 % eli 249 kpl/ha. Kasvatuskelpoisia turhaan poistettuja taimia oli keskimäärin 4 %. Koneyksiköllä 1 kasvua haittaavia puita jäi perkaamatta keskimäärin 281 kpl/ha (13 % keskimääräistä enemmän) ja kasvatuskelpoisia, turhaan poistettuja puita oli keskimäärin 77 kpl/ha (taulukko 7). Koneyksiköllä 2 kasvua haittaavia puita jäi perkaamatta keskimäärin 237 kpl/ha ja kasvatuskelpoisia puita poistettiin turhaan keskimäärin 90 kpl/ha (taulukko 7). Työmaakohtaiset keskiarvot, joista taulukon 7 luvut on laskettu, ovat liitteessä 6.



Kuva 30. Turhaan poistetut puut (kpl/ha) etäisyysluokittain ajouran keskipisteestä.



Kuva 31. Turhaan poistetut puut (kpl/ha) etäisyysluokittain ajouran keskipisteestä.

Valtaosa turhaan poistetuista kasvatuskelpoisista puista sijaitsee 0–3 m etäisyysvyöhykkeillä ajouran keskipisteestä laskien (kuva 30). Kun etäisyys ajourasta kasvaa, vähenee myös turhaan poistettujen kasvatuskelpoisten puiden lukumäärä. Molemmilla koneyksiköillä (kuva 31) ja kaikilla kolmella kuljettajalla tulos on hyvin samankaltainen.

Turhaan poistettuja kasvatuskelpoisia puita on koneyksiköllä 2 ollut enemmän kuin koneyksiköllä 1 (kuva 31). Kuljettaja 1, joka on koneyksikön 1 ainoa kuljettaja, on jättänyt poistamatta enemmän kasvua haittaavia puita ja on poistanut vähemmän kasvatuskelpoisia puita kuin koneyksikön 2 (kokeneempi) kuljettaja 3. Kuljettaja 2 on jättänyt poistamatta huomattavasti enemmän muiden puiden kasvua häiritseviä puita (702 kpl/ha) kuin muut kuljettajat. Koneyksiköllä 1 kasvatuskelpoisia, turhaan poistettuja puita oli keskimäärin 77 kpl/ha (taulukko 7) ja koneyksiköllä 2 turhaan poistettuja oli keskimäärin 90 kpl/ha (taulukko 7).

## 5.7 Jäävän puuston puulajijakauma

Tutkimuksessa mukana olleiden työmaiden puulajisuhteista ei ole tietoa ennen taimikonhoitoa, mutta taulukossa 8 on työmaiden puulajisuhteet taimikonhoidon jälkeen. Työmaista 70 % oli pääpuulajiltaan kuusta ja 30 % mäntyä. Taimikonhoidon jälkeen kuusileimikoita oli työmaista 60 %, mäntyleimikoita 30 % ja sekaleimikoita 10 %. Sekaleimikoista puolet oli kuusivaltaisia ja puolet mäntyvaltaisia.

**Taulukko 8. Jäävän puuston keskimääräinen puulajijakauma työmaittain sekä koneyhdistelmien ja kuljettajien mukaan eriteltynä.**

Työmaatiedot				Keskimäärin			
Koneyksikkö	Kuljettaja	Pääpuulaji	Mänty, kpl/ha	Kuusi, kpl/ha	Koivu, kpl/ha	Puusto, kpl/ha	
1	Kone 1	Kulj. 1	Kuusi	27	1 360	493	1 879
2	Kone 1	Kulj. 1	Kuusi	40	1 493	173	1 706
3	Kone 1	Kulj. 1	Kuusi	40	1 879	293	2 213
4	Kone 1	Kulj. 1	Kuusi	213	1 879	253	2 346
5	Kone 1	Kulj. 1	Mänty	2 359	227	240	2 826
6	Kone 2	Kulj. 2	Mänty	786	240	933	1 959
7	Kone 2	Kulj. 2	Kuusi	320	2 199	120	2 639
8	Kone 2	Kulj. 3	Kuusi	320	826	347	1 493
9	Kone 2	Kulj. 3	Mänty	2 613	453	0	3 066
10	Kone 2	Kulj. 3	Mänty	1 040	360	700	2 099
11	Kone 2	Kulj. 3	Kuusi	547	1 853	160	2 559
12	Kone 2	Kulj. 3	Kuusi	1 066	1 440	40	2 546
13	Kone 2	Kulj. 3	Kuusi	453	1 320	147	1 919
14	Kone 2	Kulj. 3	Kuusi	1 093	1 106	53	2 253
15	Kone 2	Kulj. 3	Kuusi	27	1 933	333	2 293
16	Kone 2	Kulj. 3	Kuusi	826	1 506	27	2 359
17	Kone 2	Kulj. 3	Kuusi	307	1 253	307	1 866
18	Kone 2	Kulj. 3	Kuusi	267	1 506	293	2 066
19	Kone 2	Kulj. 3	Kuusi	360	1 786	107	2 253
Ka. Koneyksikkö 1				536	1 368	291	2 194
Ka. Koneyksikkö 2				716	1 270	255	2 241
Ka. Kuljettaja 1				536	1 368	291	2 194
Ka. Kuljettaja 2				553	1 220	527	2 299
Ka. Kuljettaja 3				743	1 279	209	2 231
Työmaiden ka.				669	1 296	264	2 228

Pääpuulaji oli pysynyt taimikonhoidon jälkeen valtapuuna kaikilla työmailla, tosin puolet mäntykohteista oli puulajisuhteidensa osalta sekaleimikoita, sillä niillä kuusen osuus oli yli 30 %.

Koneyksiköllä 1 oli 80 % työmaista kuusivaltaisia ja 20 % mäntyvaltaisia. Koneyksiköllä 2 puolet työmaista oli kuusivaltaista, puolet sekapuustoa. Koneyksiköllä 3 työmaista 67 % oli kuusivaltaisia, 25 % sekaleimikoita ja 8 % mäntyleimikoita.

Kuljettajalla 1 työmaista 80 % oli kuusivaltaisia. Kuljettajalla 2 kuusivaltaisten työmaiden osuus oli 50 % ja sekaleimikoiden 50 %. Kuljettajalla 3 valtaosa työmaista (n. 72 %) oli kuusivaltaisia, sekaleimikoita oli 21 % ja mäntyleimikoita 11 %. Kuljettajalla 3 kuusileimikoita oli 67 %, mäntyä 8 % ja sekaleimikoita 25 %.



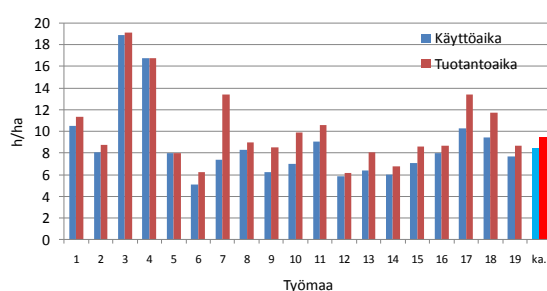
## 5.8 Koneyksiköiden tuottavuus

Koneyksiköllä 1 (taulukko 9) perattiin 62,5 hehtaarin kokonaispinta-alasta yli kolmasosa, vaikka työmaita oli vain viisi. Työmaat olivat Nilsiässä keskimäärin suurempia kuin Joensuuassa. Koneyksiköllä 2 perattiin suurin osa (14 kpl) koealoista ja 65 % kokonaispinta-alasta.

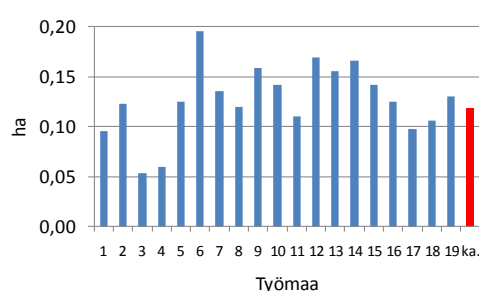
Koneyksikön 1 keskimääräinen käyttöaste oli 96 %, koneyksikön 2 11 prosenttiyksikköä pienempi eli 85 %. Koneiden keskimääräinen käyttöaste oli 89 % (taulukko 9). Koneyksikön 1 käyttöajanmenekki oli 2,3 h/ha suurempi kuin koneyksikön 2 ja käyttötuntituotos 0,03 ha/h pienempi kuin koneyksikön 2. Käyttöajanmenekin keskiarvo oli 8,4 h/ha ja käyttötuntituotoksen keskiarvo oli 0,12 ha/h.

Taulukko 9. Konekohtaisia tuottavuuden tunnuslukuja.

	Koneyksikkö 1	Koneyksikkö 2	Yht. / ka.
Pinta-ala, ha	21,8	40,7	62,5 yht.
Työmaita, kpl	5	14	19 yht.
Käyttöaste	96	85	89 ka.
Käyttöajanmenekki, h/ha	9,9	7,6	8,4 ka.
Käyttötuntituotos, ha	0,10	0,13	0,12 ka.



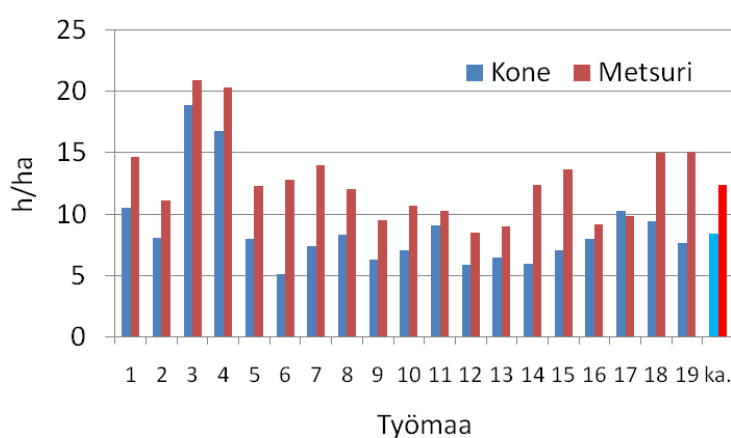
Kuva 32. Keskimääräinen käyttöajanmenekki työmaittain.



Kuva 33. Keskimääräinen käyttötuntituotos työmaittain.

Työmaiden välillä havaittiin merkittävää vaihtelua tuottavuuden tunnusluvuissa (kuvat 32 ja 33). Esimerkiksi työmailla 3 ja 4 on ollut erityisen suuri käyttöajanmenekki ja pieni käyttötuntituotos, mutta niillä myös poistettujen puiden lukumäärä on ollut huomatta-

vasti suurempi kuin muilla kohteilla. Pääpuulaji on mänty ainoastaan työmailla 5, 6, 9 ja 10. Mäntyvaltaiset kohteet ovat yleensä puuston osalta helpompia työskentelykohteita kuin kuusivaltaiset kohteet. Työmailla 6 ja 12 käyttöajanmenekki on ollut pienin ja käyttötuntituotos suurin (kuvat 32 ja 33). Työmaat 1–5 koneyksiköllä 1 tehneen kuljettajan keskimääräinen käyttöajanmenekki on suurempi 9,9 h/ha kuin koneyksikköä 2 ajaneilla kuljettajilla (ka. 7,6 h/ha) ja käyttötuntituotos pienempi (ka. 0,10 ha) kuin koneyksikköä 2 ajaneilla kuljettajilla (ka. 0,13 ha), mutta toisaalta hänen työmaillaan vaurioprocentti on keskimäärin 3 % ja koneyksikön 2 työmailla vaurioprocentti on siihen verrattuna kaksinkertainen, keskimäärin 6 %.



Kuva 34. Käyttöajanmenekki, kone vs. metsuri.

Metsurin ajanmenekki on laskettu raivaussahatyön ajanmenekkifunktiolla (Metsäalan TES taso 1,5 eli kerroin 1,3125) ja korjattu vastaamaan keskimäärin toteutuvaa työajanmenekkiä.

Metsurityöhön verrattuna koneellisen taimikonhoidon käyttöajanmenekki oli kaikilla työmailla pienempi kuin metsurityössä, keskimäärin koneellisessa taimikonhoidossa 8,4 h/ha ja metsurityössä 9,4 h/ha (kuva 34).

## **6 Tulosten tarkastelu**

### **6.1 Tutkimusaineiston määrä**

Tähän tutkimukseen saatiin mukaan vähemmän työmaita kuin oli suunniteltu. Lisäksi kattavaa ajopiirturi- ja GPS-paikannindataa ei saatu kerättyä kaikilta kohteilta. Taimikonhoidon suoritti kolme kuljettajaa kahdella koneyksiköllä. Eri koneyksiköiden ja kuljettajien väliseen vertailuun ei saatu kerättyä riittävän laajaa aineistoa. Kuljettaja 1 teki viisi koealaa koneyksiköllä 1 ja loput 14 koealaa perattiin koneyksiköllä 2. Niistä kaksi on kuljettajan 2 perkaamia ja 12 kuljettajan 3 perkaamia. Yhdeltä koneyksiköltä (2) ja kuljettajalta (3) saatiin kerättyä riittävästi aineistoa vertailua varten. Koneyksiköltä 1 ja kuljettajilta 1 ja 2 on saatu niin vähän mittaustietoa, että kuljettajien ja koneiden välinen vertailu on vain suuntaa antavaa.

Pienen ja keskikokoisen taimikonhoitokoneen vertailu tulisi viimeistellä teettämällä pienemmällä koneella nyt mitattujen työmaiden lisäksi muutama uusi taimikonhoitotyömaa, jolloin kahden koneyksikön tulosten keskinäisen vertailun luotettavuutta voitaisiin lisätä. Myös eri kuljettajien osalta aineistoa pitäisi kerätä lisää, jotta voitaisiin todeta, ovatko kuljettajien välisessä vertailussa havaitut erot tilastollisesti merkitseviä.

### **6.2 Mittausmenetelmien arviointi**

#### **Maastokoealat**

Tutkimuksen piiriin kuuluvilta työmailta saatiin kerättyä kaikki maastokoealatiedot. Kerätyt tiedot olivat riittäviä tähän tutkimukseen, eli mm. ajourista ja vaurioista saatiin tarvittavat tiedot erilaisten tunnuslukujen laskemista ja vertailujen suorittamista varten.

Tutkimuksessa koealalinjat on pyritty sijoittamaan sellaiselle työmaan lävistäjälle, jolta saataisiin työmaan ominaisuuksista mahdollisimman kattava otos. Mikäli työmaan olosuhteet olisivat kovin epätasaiset, mittaustulokset antaisivat tällä mittausmenetelmällä suurempien työmaiden ominaisuuksista epätarkemman kuvan kuin pienemmistä. Koealoilta kerätyt mittaustulokset antavat kuitenkin oman näkemykseni mukaan kattavan arvion tässä tutkimuksessa mukana olleiden työmaiden ominaisuuksista.

Maastossa eri mittaajat voivat saada hieman erilaisia tuloksia tulkinnanvaraisissa tilanteissa, jollaisia ovat esimerkiksi koealan mediaanipuun valinta tai puun pituuden arviointi mittakeppiä apuna käyttäen. Mittaajan ”kalibrointi” tehtiin tässä tutkimuksessa siten, että muutamana ensimmäisenä mittauspäivänä aikaisemman tutkimuksen suorittajat olivat mukana koealoilla ja näin varmistettiin, että tämän tutkimuksen mittaaja suorittaa mittaukset samalla tavalla kuten aikaisemmat mittaajat. Tämän tutkimuksen kaikki koealat mittasi sama henkilö, joten vuonna 2009 (Strandström M. ja Poikela A.) ja 2010 (Kallioniemi, P.) suoritettujen maastomittausten tuloksia voi pitää keskenään vertailukelpoisina.

Tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että kaikilta työmailta ei ole mitattu saman verran koealoja. Tämän tutkimuksen työmailta on mitattu korkeintaan 15 koealaa riippumatta työmaan koosta, eli suuremmilta koealoilta on mitattu yhtä paljon koealoja kuin pienemmiltä. Tämä mittaustapa antaa tarkemman arvion pienempien työmaiden ominaisuuksista. Kuitenkin hyvin pieniltä, alle yhden hehtaarin kokoisilta työmailta, on mitattu vain 10 koealaa. Suuremmat työmaat, joilta on mitattu enemmän koealoja, painottuvat aineistossa, eli niiden mittausarvot vaikuttavat tuloksiin enemmän.

### **Ajourat**

Tutkimuksen tulosten laskennassa käytettiin maastossa mitattuja uravälejä, koska maastossa ajouraväli mitattiin jokaiselta työmaalta, mutta kartalta mitatut ajouravälit puuttuvat viideltä työmaalta (työmaat 6, 7, 13, 14 ja 15), koska näiltä työmailta ei saatu kerättyä riittävästi tietoja GPS-paikantimella. Kartalta mitattiin enemmän ajouravälejä kuin maastossa, vaikka työmaita oli karttamittauksissa mukana vähemmän.

Maastossa uravälit on mitattu eri kohdista kuin kartalta. Kartalta on voitu silmämääräisesti valita työmaan ajouraverkkoa parhaiten kuvaavat mittauskohdat, kun taas maastossa uravälimittaukset on tehty linjoittaisen koealaotannan mukaan ja maastossa uravälimittauksia häirtasivat lisäksi vaikeat kulkuolosuhteet, erityisesti runsas raivausjäte ja tiheä puusto.

Lankamittalaite ei ole kovin tarkka mittausmenetelmä, mutta sitä oli käytettävä useilla kohteilla, sillä puuston tiheyden vuoksi lasermittalaitteen käyttö oli mahdotonta pitkillä etäisyyksillä. Puuston lisäksi myös aurinko häytti usein lasermittalaitteen käyttöä, koska siinä ei ollut optista tähtäintä vaan ainoastaan laserpiste. Tästä syystä tässä tutkimuksessa kartalta mitatut ajouravälit ovat luultavasti tarkempia kuin maastossa mitatut, mutta jos ajouramittaukset suoritetaan hieman harvemmassa tai pienikokoisemmassa taimikossa, saadaan ajouramittauksesta todennäköisesti tarkkoja arvoja. Optisella tähtäimellä varustettu laseretäisyysmittari toiminee hyvin vaikeissakin olosuhteissa.

Ajourien piirtäminen kartalle ja ajouravälien laskeminen kartalta ovat subjektiiviseen tulkintaan perustuvia työvaihteita, joissa systemaattista virhettä voi syntyä. Eri henkilöt voivat mieltää koneen työmaalla kulkeman reitin (ajouran) erilaiseksi, joku voi esimerkiksi tasoittaa koneen kulkemaa reittiä enemmän kuin toinen. Tässä tapauksessa sama henkilö on piirtänyt kaikki ajourat kartalle, joten kaikki mitatut ajourien pituudet ovat vertailukelpoista keskenään.

Ajouravälien mittaaminen kartalta perustuu subjektiiviseen tulkintaan, joten systemaattisen virheen mahdollisuus on olemassa. Mikäli ajouravälien laskennassa käytettyä ajouravälejä kohtisuoraan leikkaavaa suoraa ei piirretä tasan 90° kulmassa, ajouraväleille saadaan liian suuria arvoja. Koska ajourat eivät voi maastossa olla täsmälleen samassa linjassa, on suoran kulman löytäminen niitä leikkaavalle mittauslinjalle aina tulkintakykyä. Sama henkilö on mitannut ajouravälit kartalta tässä tutkimuksessa, joten tulkinta ja samalla systemaattisen virheen mahdollisuus on samanlainen kaikissa mitatuissa kohteissa.

### **Vauriot**

Tutkimuksessa kerättiin tietoa lievistä ja vakavista runkovaurioista. Mikäli vaurioita halutaan tutkia tarkemmin, on kerättävä tietoa myös maasto- ja juurivaurioista. Myös vaurioiden laadusta voisi olla hyvä kerätä tarkempaakin tietoa kuin tässä tutkimuksessa, jossa luokiteltiin vaurioituneet taimet ainoastaan kasvatuskelpoisiin ja kasvatuskelvottomiin. Luokituksessa voitaisiin ottaa huomioon mm. vaurion koko ja syvyys. Ajouran

vaurioituneet reunapuut olisi ollut hyvä kirjata erikseen, jotta tiedettäisiin, paljonko ajouran reunaan jää kasvamaan vaurioituneita puita, jotka olisi pitänyt poistaa.

Luokituksen käyttäminen (esim. etäisyysluokat ajourasta, tiheysluokitus ja poistuma-luokitus) vertailuissa voi vaikuttaa tulosten tulkintaan jonkin verran. Luokkien määrää lisäämällä saadaan tulosten jakaumasta tarkempi kuva. Tässä tutkimuksessa luokittelu on tehty siten, että se antaa mahdollisimman kattavan kuvan koko aineistosta.

### **6.3 Puuntuotannolliset vaikutukset**

Koneellisen taimikonhoidon puuntuotannollisia vaikutuksia määritettäessä oleellista olisi selvittää, kuinka paljon koneellinen taimikonhoito alentaa ensiharvennuksen hakkuukertymää manuaaliseen taimikonhoitoon verrattuna ja oleellista on myös se, onnistutaanko ensiharvennuksessa erottamaan ja poistamaan koneellisessa taimikonhoidossa vaurioituneet puut, jotka ovat saaneet tai mahdollisesti saavat myöhemmin lahovian. Jos harvennushakkuun ajourat (ja hakkuu-urat) onnistutaan sijoittamaan raivauskoneen käyttämille kulku-urille, valtaosa vauriopuista tulee ensiharvennusvaiheessa poistetuksi.

Koneellisen taimikonhoidon ja sen yhteydessä avattujen ajourien vaikutuksia myöhemmän puuntuotokseen voi arvioida heti taimikonhoidon jälkeen lähinnä mittaamalla syntyneiden ajourien leveys ja ajouravälit sekä arvioimalla taimikonhoidon tulosta mittaamalla vaurioituneiden, turhaan poistettujen ja poistamatta jääneiden puiden määrät. Näiden tekijöiden vaikutusta metsikön tulevaan kehitykseen ja puuntuotokseen ei voida tämän tutkimuksen perusteella arvioida, joten asian selvittämiseksi tarvittaisiin jatko-tutkimuksia.

Puuston tulevaa kasvua arvioitaessa on otettava huomioon, että ajourien vaikutus puuntuotokseen ei välttämättä ole pelkästään negatiivinen ajoura-aukon jättämän puuttoman tilan kautta, vaan sillä saattaa mahdollisesti joissain tapauksissa olla myös kasvua lisäävä vaikutus ajouran reunavyöhykkeen puustoon valon ja ravinteiden määrän lisääntymisen vuoksi. Asiaa ovat tutkineet mm. Isojoki ja Niemistö (1990) Etelä-Suomen nuorissa kuusikoissa. Taimikossa tilannetta pitäisi tutkia erikseen, sillä yksittäinen taimi saa ilman ajouran avaamistakin valoa enemmän kuin harvennusmetsikössä kasvavat puut, koska taimikossa puut ovat pienempiä. Taimet voivat myös mahdollisesti hyödyn-

tää harvennusjätteestä syntyvää ravinnelisäystä joko paremmin tai huonommin kuin vanhempi puusto. Vaikutusten selvittäminen edellyttäisi lisätutkimuksia.

## **6.4 Taimikonhoidon työnjälki**

### **6.4.1 Ajourat**

Tässä tutkimuksessa ajourien todettiin vähentävän taimikonhoitoalueen puuntuotannollista pinta-alaa 9–11 %. Puuntuotannollisen ajouran osuus koko pinta-alasta on noin 10 %. Puuntuotannollisen ajouran osuus on koneyksiköllä 1 keskimäärin 9 % ja koneyksiköllä 2 keskimäärin 11 % koko pinta-alasta. Pieni koneyksikkö 1 tekee kapeampaa ajouraa, mutta sen käyttämä ajouraverkko on tiheämpi kuin keskiraskaan koneyksikön 2.

Pienellä koneyksiköllä 1 maastossa mitattu ajouraväli oli keskimäärin 16,4 m ja keskiraskaalla koneyksiköllä 2 keskimäärin 17,7 m. Ajouraa on koko taimikonhoitoalueella keskimäärin noin 670 m/ha.

Ajouraleveydellä tai ajouravälillä ei tässä tutkimuksessa havaittu olevan merkittävää vaikutusta runkovaurioprocenttiin, mutta toisaalta NISKin menetelmällä mitatun ajouraleveyden ja vaurioprocentin välillä oli korrelaatio. Tutkimusaineistoa tarvittaisiin lisää mahdollisen korrelaation löytämiseksi ajouraleveyden ja vaurioprocentin tai ajouravälin ja vaurioprocentin välillä. Esimerkiksi Sirén (1998) ei myöskään havainnut tutkimuksessaan etäisyyden ajourasta vaikuttavan vaurioprocenttiin, eikä voinut tutkimuksessaan osoittaa ajouran leveyden ja vaurioprocentin yhteyttä.

Sirénin (1998) mukaan jäävän puuston määrän ja laadun lisäksi puuston jakautumiseen leimikolla on kiinnitettävä huomiota ja ajourien reunoille tulisi jättää riittävä ja vaurioitumaton puusto ajouran kasvutilaa hyödyntämään. Tämän tutkimuksen perusteella taimikossa tätä voi olla vaikea toteuttaa, sillä ajouran reunapuissa oli paljon puustovaurioita. Taimikonhoidossa työnjälkeen tulisi kiinnittää erityistä huomiota.

#### **6.4.2 Vauriot**

Tässä tutkimuksessa havaittiin, että koneellisessa taimikonhoidossa keskimäärin 5 %:lle jäävästä puustosta syntyy runkovaurioita ja suurin osa vakavista vaurioista syntyy ajourien läheisyyteen. Runkovaurioprosentti pienenee, kun etäisyys ajourasta kasvaa. Kone aiheuttaa valtaosan vakavista vaurioista (n. 70 %) ja raivain suurimman osan lievistä runkovaurioista (n. 80 %). Suurin osa vakavista vaurioista aiheutuu koneyksikön liikkumisesta ajouralla. Koneen aiheuttamaksi lasketaan myös puomin aiheuttamat vauriot, ja tästä syystä koneen aiheuttamia, lähinnä lieviä vaurioita esiintyy myös kauempana ajourasta.

Ajouran lähellä raivain aiheuttaa todennäköisesti vähemmän vaurioita siksi, koska koneella on uralla enemmän liikkumatilaa. Puita on helpompi kaataa läheltä ajouraa kuin kauempana siitä, koska kuljettaja joutuu silloin väistelemään kasvamaan jääviä puita.

Jäävän puuston määrän ei tässä tutkimuksessa havaittu korreloivan runkovaurioprosentin kanssa, eikä korrelaatiota ollut myöskään poistetun puuston määrällä ja runkovaurioprosentilla. Jäävän puuston tiheyden kasvaessa vaurioprosentti kasvoi tiheysluokkaan 2 100–2 400 kpl/ha asti, mutta tiheimmissä luokissa vaurioprosentti laski noin puoleen suurimmasta arvostaan. Poistetun puuston keskimääräisen hehtaarikohtaisen lukumäärän kasvaessa runkovaurioprosentti kasvoi aluksi voimakkaasti, mutta vaihtelu tasaantui kahdessa tiheimmässä poistumaluokassa. Tiheimpien luokkien alhainen runkovaurioprosentti voi johtua osittain siitä, että puustoltaan tiheimmille koealoille on jäänyt kasvamaan puita, jotka olisi pitänyt poistaa.

Lähimpänä ajouraa sijaitsevalta vyöhykkeeltä (0–3 m ajouran keskilinjasta) oli poistettu huomattavasti enemmän kasvatuskelpoisia puita kuin kauempaa ajourasta. Taimikonhoitokone vaatii tilaa pystyäkseen liikkumaan ja toimimaan, ja voi olla, että ajouran vaurioituneita reunapuita on poistettu, vaikka ne on alun perin ollut tarkoitus jättää kasvamaan. Myös Sirén (1998) havaitsi tutkimuksessaan, että vaikka jäävän puuston määrä oli suhteellisen tasainen eri etäisyyksillä ajourasta, laski raivattujen puiden määrä selvästi uralta pois päin mentäessä.



Sirénin (1998) tutkimuksessa poistettavien puiden määrä kasvoi uralta pois päin siirryttäessä. Tässäkin tutkimuksessa poistamatta jääneiden, muiden puiden kasvua haittaavien puiden lukumäärä kasvoi, kun etäisyys ajourasta piteni, mutta kuljettajien välillä havaittiin tässä tutkimuksessa huomattava ero. Kuljettajalla 1 puita jäi poistamatta sitä enemmän mitä kauempana ajourasta hän työskenteli, mutta kokeneimmalla kuljettajalla 3 poistettavia puita jäi tasaisemmin koko alueelle. Ero voi johtua kuljettajien välisistä eroista, mutta mahdollisesti myös siitä, että pienemmän koneyksikön kuljettajan 1 oli vaikeampi havaita kaukana ajourasta sijaitsevia poistettavia puita tai niiden poisto oli vaikeampaa, koska ajouravälit olivat paikoitellen pienelle koneelle mahdollisesti liian leveitä.

Tässä tutkimuksessa runkovaurioprosentti oli pienempi kuin edellisessä, keskimäärin harvemmassa taimikossa toteutetussa tutkimuksessa (Strandström 2010), missä runkovaurioprosentti oli keskimäärin 7 %. Tiheämmässä taimikossa vaurioprosentin voisi olettaa olevan suurempi. Kaikkia vaurioprosenttiin vaikuttavia tekijöitä on kuitenkin hyvin vaikea selvittää. Tulos kertoo kuitenkin, että tiheässäkin taimikossa voidaan saavuttaa hyvä korjuujälki ja korjuujäljen parantamisen kannattaa kiinnittää huomiota kuljettajia ohjeistettaessa ja koulutettaessa sekä työtä suunniteltaessa ja toteutettaessa.

#### **6.4.3 Kuljettajien väliset erot**

Kuljettajien korjuujäljessä havaittiin tässä tutkimuksessa huomattavia eroja, jotka todennäköisesti eivät johdu kokonaan työmaiden eroista ja korjuuolosuhteista. Sirénin (1998) tutkimuksessaan (harvennushakkuukohteilla) havaitsemaa yhteyttä hyvän korjuujäljen ja korkean tuottavuuden välillä ei tässä tutkimuksessa havaittu.

Osa eroista korjuujäljessä johtuneet kuljettajien erilaisista työskentelymenetelmistä, kokemuksesta ja taidoista. Myös koneyksiköiden väliset erot voivat vaikuttaa jonkin verran vaurioprosenttiin ja tuottavuuteen. Kuljettaja 3 oli kokenein MenSe-raivauspään käytössä, mutta kaikilla kuljettajilla oli usean vuoden kokemus koneellisesta taimikonhoidosta.

Koneyksikön 1 ainoa kuljettaja (kuljettaja 1) jätti poistamatta enemmän kasvua haittaavia puita ja poisti vähemmän kasvatuskelpoisia puita kuin koneyksikön 2 kuljettaja 3.

Tämäkin voi jonkin verran selittää koneyksikön kuljettajan muita pienempää runkovaurioprosenttia.

#### **6.4.4 Koneyksiköiden väliset erot**

Tässä tutkimuksessa keskiraskaan koneyksikön 2 vaurioprosentti oli kaksi kertaa suurempi kuin pienemmän koneyksikön 1. Toisaalta myös koneyksikön 1 käyttöajanmenekki oli suurempi kuin koneyksikön 2.

Tässä tutkimuksessa ei voitu selvittää, mistä suuret erot eri koneyksiköiden vaurioprosenttien välillä johtuivat. Mm. Sirén (1981) on todennut, että vaurio on usein useamman seikan yhteisvaikutuksen tulos. Erot puustovaurioprosenteissa johtuvat tässä tutkimuksessa todennäköisesti eniten kuljettajien välisistä eroista. Koneyksikön 2 vaurioprosenttia kasvattaa yhdellä prosenttiyksiköllä kuljettajan 2 suuri vaurioprosentti kahdella työmaalla (neljästätoista). Myös työmaakohtaiset erot, kuten pääpuulaji ja maaston vaikeustekijät sekä erilaiset olosuhteet, esimerkiksi sääolot ja vuoden- tai vuorokaudenaika voivat vaikuttaa vaurioprosenttien eroihin. Itse koneyksiköiden kokoeron tai ominaisuuksien vaikutus on luultavasti pieni.

#### **6.4.5 Tilajärjestys ja puulajijakauma**

Tutkimuksessa havaittiin, että kasvatettavien puiden ympärille jäi kasvua haittaavia puita keskimäärin 250 kpl/ha. Kahdessa tiheimmässä jäävän puuston tiheysluokassa (yli 2 400 tainta/ha) perkaamatta jääneitä muiden puiden kasvua häiritseviä puita oli enemmän kuin harvemmissa tiheysluokissa, mikä voi olla yksi syy siihen, että runkovaurioita on näissä luokissa syntynyt vähemmän. Tässä tutkimuksessa kasvamaan jätettyjen puiden tiheyden ja runkovaurioprosentin välillä ei ollut korrelaatiota. Tarvittaisiin kuitenkin lisää tutkimusaineistoa, jotta voitaisiin päätellä, onko kasvamaan jätettyjen puiden lukumäärällä ja vaurioprosentilla yhteys.

Koneyksiköllä 1 jäi ajourien väliselle alueelle huomattavasti enemmän kasvua haittaavia puita kuin koneyksiköllä 2. Yksi mahdollinen selitys tähän on se, että ajouraväli on ollut pienelle metsäkoneelle keskimäärin hieman liian pitkä (koneyksikkö 1: puomi 8,6 m, ajouraväli keskimäärin 16 m ja koneyksikkö 2: puomi 10 m, keskimääräinen ajouraväli

18 m ), jolloin keskivyoöhykkeen puihin on ollut vaikea yltää. Pienestä koneesta näkyvyys on voinut olla huonompi kuin keskisuuresta, joten kuljettaja ei ehkä ole havainnut kaikkia puita, jotka olisi pitänyt poistaa. Kuljettajien työskentelytavoissa voi myös olla huomattavia henkilökohtaisia eroja.

Työmaiden puulajisuhteiden muutosta ei voi tutkia, sillä puulajijakaumasta ennen taimikonhoitoa ei ole tietoa. Pääpuulaji kuitenkin säilyi valtapuuna kaikilla työmailla. Työmaista 72 % oli kuusivaltaisia, 11 % mäntyvaltaisia ja 21 % sekaleimikoita.

## **6.5 Koneellisen taimikonhoidon työjäljen laatu**

Uusien metsäsertifiointikriteerien mukaisissa Tapion (2006) Hyvän metsänhoidon suosituksissa määritellään hyvän korjuulaadun keskimääräiseksi tavoitteeksi ensimmäisessä harvennuksessa, että runko- ja juurivaurioita jää alle neljälle prosentille jäävästä puustosta. Tässä tutkimuksessa koneellisessa taimikonhoidossa ei aivan päästy harvennushakkuissa vaadittuun tavoitteeseen. Asiaan voi vaikuttaa varsin myöhäisessä vaiheessa suoritettu taimikonhoito, koska tutkituissa taimikoissa puusto oli jo tiheää ja suurikoista. Noin viiden prosentin keskiarvo runkovaurioissa alittaa kuitenkin Tapion korjuujäljen valtakunnallisten tarkastustulosten vuoden 2010 energiapuuharvennuksista saadun 5,4 prosentin keskiarvon. Energiapuuharvennusten korkeampaa puustovaurioprocenttia selittävät hoitamattomuudesta johtuvat hankalat korjuuolosuhteet, joita ovat esimerkiksi alikasvoksen määrä, puuston epätasaisuus, lähtöpuuston suuri runkoluku sekä vesasyntyisten puiden suuri lukumäärä (Tapio 2006). Taimikonhoidossa työtä vaikeuttavat samat tekijät kuin energiapuuharvennuksessa, vaikka puusto onkin kooltaan pienempää.

Tässä tutkimuksessa Tapion (2006) hyvän metsänhoidon suositusten mukainen (harvennushakkuussa edellytettävä) ajouraleveyden neljän metrin alaraja alittui molemmilla koneyksiköillä. Tapion (2006) suosituksen mukaan urapainumia saa esiintyä alle neljällä prosentilla ajourien pituudesta. Urapainumia ei tässä tutkimuksessa mitattu eikä luettu, mutta maastomittausten yhteydessä suoritetun visuaalisen tarkastelun perusteella merkittäviä urapainumia ei havaittu kuin paikoitellen soistuneissa tai vaikeissa maastonkohdissa.

Strandströmin ym. (2011) mukaan koneellisen taimikonhoidon työjäljen laadussa ei yllättä samalle tasolle metsurityön kanssa toistaiseksi ja tuskin tulevaisuudessakaan. Taimikonhoitolaite tai -kone aiheuttaa Strandströmin ym. (2011) mukaan vaurioita noin 5–10 %:lle kasvatettavista taimista ja lisäksi taimen viereen jää paikoin kasvatettavan puun kasvua haittaavia puita.

## **6.6 Kustannustehokkuus**

Koneellisen taimikonhoidon tuottavuutta ja kustannuksia raivaussahatyöhön verrattuna on käsitelty kappaleessa 2.5 Koneellisen taimikonhoidon tuottavuus ja kustannukset. Kappaleen tärkein lähde on Metsätehon tutkimus *Koneellisen istutuksen ja taimikonhoidon kilpailukyky*. Lähdemateriaalina Metsätehon tutkimuksessa on käytetty muun aineiston ohella myös tässä tutkimuksessa kerättyjä mittaustuloksia.

Koneiden tuottavuutta selvitettiin tässä tutkimuksessa käyttöajanmenekin ja käyttötuntituotoksen osalta (5.1.3 Koneyksiköiden tuottavuus). Tässä tutkimuksessa käyttöajanmenekin keskiarvo oli 8,4 h/ha ja käyttötuntituotoksen keskiarvo 0,12 ha kaikilla työmailla, mutta kuljettajien ja sitä kautta koneiden välillä tuloksissa oli paljon vaihtelua. Verrattaessa koneyksiköiden tuottavuutta keskenään on otettava huomioon, että pienemmällä koneyksiköllä 1 on tehty vain viisi työmaata ja molemmat erityisen tiheät työmaat sijaitsevat sen alueella, mikä suurentaa koneyksikön 1 käyttöajanmenekkiä koneyksikköön 2 verrattuna. Jotta koneyksiköiden vertailusta voitaisiin tehdä yleistäviä tulkintoja, tarvittaisiin lisää työmaita koneyksiköltä 1.

## **6.7 Aikataulun vaikutus**

Maastotutkimuskohteiden koneellinen taimikonhoito toteutettiin kesän ja syksyn 2010 aikana. Maastomittaukset suoritettiin syys-marraskuussa 2010. Koealamittaukset kestivät arvioitua kauemmin, sillä mitattavien kohteiden perkaus ei toteutunut suunnitellussa aikataulussa. Viimeisten mittausten aikana maastossa oli jo n. 15–20 cm kerros lunta, mikä hankaloitti työskentelyä, mutta ei vaikuttanut merkittävästi mittaustuloksiin, vaikka kaadettujen puiden kantoja olikin vaikeampi havaita maastossa.

## **7 Johtopäätökset**

### **7.1 Tutkimuksen tavoitteiden toteutuminen**

Tutkimuksen piiriin kuuluvilta työmailta saatiin kerättyä kattava ja tutkimuksen kannalta riittävä määrä maastomittaustietoja. Tutkimuksen tärkeimmistä osa-alueista eli ajourista ja puustovaurioista saatiin riittävästi tietoa tunnuslukujen laskemista ja analysointia varten. Tietoa taimikonhoitotyön tuloksesta saatiin mm. puustovaurioiden sekä jäävän puuston runkoluvun, tilajärjestyksen ja puulajisuhteiden ja kautta. Ajourien keskimääräinen leveys ja määrä (urapinta-ala) sekä ajouravälit saatiin riittävällä tasolla selvitettyä. Ajourasta ja runkoluvusta johdetun puuntuotannollisen ajouran leveyttä käytettiin runkovaurioprosentin ja poistamatta jääneiden sekä turhaan poistettujen puiden hehtaarikohtaisten lukumäärien vertailuun eri etäisyysluokissa ajourilta. Puustovaurioiden merkitystä ja ajouran reunavaikutusta tarkasteltiin kirjallisuustutkimuksessa kappaleissa 2.3 Ajouran puuntuotannolliset vaikutukset ja 2.4 Korjuujälki ja vauriot. Lisäksi koneelliseen kitkentään perustuvaa varhaisperkausta tutkittiin yhtenä mahdollisuutena vähentää varsinaisen taimikonhoidon tarvetta tulevaisuudessa. Kitkevällä varhaisperkauksella voi olla mahdollista saavuttaa taimikonhoidollinen taso, joka mahdollistaisi varsinaisen taimikonperkauksen jättämisen tekemättä, jolloin taimikon seuraava käsittely voisi olla energiapuuhakkuu tai ensiharvennus.

Vuosien 2009 ja 2010 mittausaineiston vertailu ei toteutunut suunnitellusti, sillä mittausaineisto ei ollut kaikilta osin vertailukelpoista. Työmailta saatiin tutkimukseen vähemmän kuin oli suunniteltu ja lisäksi kattavaa ajopiirturi- ja GPS-paikannindataa ei saatu kerättyä kaikilta kohteilta. Kuitenkin mm. koneyksiköiden ajankäytöstä työmailta saatiin kerättyä riittävästi materiaalia tuottavuuden tunnuslukujen laskemista varten.

Tutkimuksessa oli tarkoitus vertailla suuremman ja pienemmän koneyksikön eroja taimikonhoidossa ajourien ja työnjäljen osalta, mutta pienemmän koneyksikön osalta ei saatu riittävästi aineistoa yleistävää tulkintaa varten.

Koneiden vertailu toteutettiin tapauskohtaisena tutkimuksena, jonka tuloksia voidaan pitää vain suuntaa antavana. Koneellisen taimikonhoidon arviointi ja vertailu manuaaliseen raivaussahatyöhön sekä ajourien puuntuotannollisten vaikutusten arviointi tehtiin

kirjallisuustutkimuksena (kappale 2.5 Koneellisen taimikonhoidon tuottavuus ja kustannukset).

## **7.2 Päätelmiä**

Tässä tutkimuksessa tiheässä taimikossa suoritettussa koneellisessa taimikonhoidossa syntyi vaurioita keskimäärin viidelle prosentille jäävästä puustosta. Aikaisemmin toteutetussa taimikonhoidossa vaurioiden määrää voitaisiin todennäköisesti vähentää. Etenkin herkästi vaurioista lahovian saavissa kuusikoissa kannattaa taimikonhoito tehdä ajoissa, viimeistään Tapion (2006) suosituksen mukaisen ikäisessä ja kokoisessa taimikossa.

Yksi ongelma MenSe-raivauspäällä varustetulla koneyksiköllä toteutetussa koneellisessa taimikonhoidossa vaikuttaa tämän tutkimuksen perusteella olevan, että taimikonperkuksessa ja harvennuksessa vaurioituneet puut, joista merkittävä osa on ajouran reunapuita, jäävät maastoon. Koska vaurioituneita puita on luultavasti vaikea enää ensiharvennuksen yhteydessä erottaa muusta puustosta, olisi parasta, että etenkin helposti tunnistettavissa olevat, vahingoittuneet ajouran reunapuut poistettaisiin jo koneellisen taimikonhoidon yhteydessä, mikä vaatisi kuljettajalta tarkkuutta ja huolellisuutta. Kuljettajan taidot vaikuttavat merkittävästi työnjälkeen, joten kuljettajien tulisi olla tehtävänsä motivoituneita ja koulutettuja. Todennäköisesti kuljettajan kokemuksen karttuessa taidotkin lisääntyvät ja jäävään puustoon syntyy vähemmän vaurioita.

Tutkimuksessa havaittiin, että kuljettajien väliset erot työnjäljessä ja ajankäytössä ovat huomattavan suuret. Kuljettajien taitoja ja motivaatiota kannattaisi lisätä opastuksella ja koulutuksella. Hyvä ohjeistus ja työnjäljen valvonta sekä hyvästä lopputuloksesta eli laadukkaasta taimikonhoidosta palkitseminen lisäisi todennäköisesti kuljettajien motivaatiota.

Koneellisen taimikonhoidon kehittäminen on tärkeää, jotta jatkossa varmistetaan riittävän ja kilpailukykyisen taimikonhoidon saatavuus. Esimerkiksi MenSe-raivauspää voi jo nyt olla kilpailukykyinen vaihtoehto metsurityölle vaikeissa taimikon harvennuksissa (Strandström ym. 2011), mutta koneellisen taimikonhoidon kustannustehokkuutta on

silti parannettava nykyisestä. Rantalan ja Kauton (2011) mukaan esimerkiksi koneellinen kitkentä voisi olla koko metsänuudistamisketjun näkökulmasta tarkasteltuna sopivilla työkohteilla taloudellisesti kilpailukykyinen menetelmä raivaussahatyöhön verrattuna, jos sillä voidaan vähentää tulevaa taimikonhoitotarvetta.

## **8 Jatkotutkimusaiheita ja tulevaisuuden visioita**

Tämän tutkimuksen aikana on noussut esille useita koneelliseen taimikonhoitoon liittyviä kiinnostavia jatkotutkimusaiheita ja tulevaisuuden visioita, joista ohessa on esitelty muutamia.

### **8.1 Puustovaurioiden vaikutus metsän tulevaan tukkipuutuotokseen**

Taimikonhoidossa vaurioituneiden puiden vaikutuksesta tulevaan tukkipuutuotokseen tarvitaan jatkotutkimuksia, esimerkiksi kuinka suuri on runkovaurioituneista puista saa lahovian ja leviääkö laho muihin puihin juurien välityksellä ja kuinka nopeasti. Puulajin ja kasvupaikan vaikutus puuston toipumiskykyyn voisi myös olla kiinnostava tutkimusaihe, esimerkiksi kestääkö korpikuusikko vaurioita paremmin kuin kivennäismaalla kasvava kuusikko. Kuusikkokohteiden kiinnostavuutta tutkimuskohteena lisää kuusen herkkyys vaurioista alkunsa saaville lahovioille. Kiinnostavaa olisi myös tutkia, kuinka hyvin kuusi ja mänty kestävät taimikonhoitokoneen ”yliajoa” eli kuinka paljon yliajetuissa taimissa on tukkipuuvaiheessa vaurioita tai laatuviikoja vaurioitumattomiin vertailupuihin verrattuna.

### **8.2 Taimikonhoidossa avattujen ajourien käyttö ensiharvennuksessa**

Tapion (2006) suositusten mukaan ensiharvennuksessa ajouravälin tulisi olla yli 20 metriä. Olisi mielenkiintoista selvittää, onko näissä nyt peratuissa taimikoissa mahdollista käyttää ensiharvennuksen aikaan samoja ajouria, joita taimikonhoidossa käytettiin, vaikka näin toimien ajouraväli olisikin Tapion suosituksia pienempi.

Taimikonhoidossa keskiraskaalla koneyksiköllä avatut ajourat voisivat periaatteessa ajouravälinsä (18,3 m kartalta mitattuna) puolesta soveltua käytettäväksi sellaisenaan

ensiharvennuksessakin, mutta toisaalta on mahdollista, että kasvava puusto ja muu kasvillisuus peittää ajourat näkyvistä, jolloin niiden käyttäminen ei onnistu.

Keskimääräinen 4,3 m (Korjuujäljen raportti 2010) uraleveys ensiharvennuksissa on noin metrin suurempi kuin tässä tutkimuksessa keskiraskaalla koneyksiköllä 2 saatu keskimääräinen 3,3 m uraleveys.

Käyttämällä edes osittain samoja ajouria voitaisiin vähentää uusien ajourien aiheuttamien tulevien tukkipuutappioiden määrää, koska uusia ajouria ei tarvitsisi raivata ainaakaan normaalissa laajuudessa. Vanhoja ajouria seuraamalla olisi ehkä mahdollista löytää ja poistaa taimikonperkauksessa vahingoittuneita ja etenkin kuusikossa todennäköisesti lahovian saaneita vanhan ajouran reunapuita, mikäli vaurioituneet puut olisivat yhä tunnistettavissa. Raivaimen vahingoittamia yksittäisiä puita on todennäköisesti lähes mahdotonta erottaa puustosta myöhemmin, mutta ajouran reunapuiden runkovauriot olivat usein niin laajoja, että ne voisivat olla myöhemminkin erotettavissa.

### **8.3 Tekninen kehitys**

Vanhojen ajourien käyttöä ja koneellista taimikonhoitoa yleensäkin voi jatkossa helpottaa tietotekniikan kehittyminen, sillä jo nykytekniikalla olisi periaatteessa mahdollista paikantaa tämän tutkimuksen taimikonhoitotyömaiden ajourat GPS-paikkatietoaineiston perusteella tehdyn digitaalisen kartan avulla ja seurata reittiä koneen GPS-sijaintitietoja suunnistuksessa apuna käyttäen. Toistaiseksi tämä olisi kuitenkin käytännössä liian hankalaa toteutettavaksi, ja ainakin paikoitellen tuskin onnistuisikaan satelliittipeiton heikkoudesta ja maaston ja puuston aiheuttamasta GPS-signaalin häiriintymisestä johtuen. Tulevaisuudessa voidaan ehkä lähettää kauko-ohjattava miehittämätön taimikonhoitokone kuviolle tekemään taimikonhoito valitun ohjelman mukaan ja ennalta suunniteltua tai reaaliaikaisesti valittavaa reittiä pitkin.

Aistin- ja automaatioteknologiaa hyödyntämällä koneellista metsänhoitoa voi olla mahdollista tehostaa. Metsäkoneiden teknologia on kehittynyt nopeasti, ja esimerkiksi menetelmiä rungon automaattiseen apteraukseen sekä hakkuukoneen puoliautomaattiseen ohjaukseen on jo kehitteillä (Melkas ja Visala 2009).



Mahdollisuus käyttää kauko-ohjattavaa taimikonhoitokonetta helpottaisi kuljettajien raskaaksi kokemaa taimikonhoitotyötä, mutta automatisoinnin kustannukset oletettavasti nousisivat varsin korkeiksi ainakin alkuvaiheessa. Kannattaa myös Rummukaisen ym. (2004) ehdotuksen mukaisesti pohtia, saadaanko parempi tulos siirtämällä kuljettajan työtä enemmän automaattisten toimien valvontaan vai silloin kun hän on prosessia ennakoivan automatiikan monipuolinen hyödyntäjä. Molemmissa tapauksissa tarvitaan lisää tietoa tekniikan toteutusmahdollisuuksista ja tehtäviin ratkaisuihin vaikuttavista tekijöistä sekä kuljettajan ominaisuuksista tiedon käsittelijänä. Kuljettajien työnaikaisen suunnittelun, päätöksentekoa tukevien järjestelmien sekä kuljettajien työskentelytapojen ja tekniikoiden kehittämisellä voidaan todennäköisesti saavuttaa suurempia etuja kuin pelkällä koneiden kehityksellä. (Rummukainen ym. 2004)

Strandström ym. (2011) toteavat, että metsänhoitokoneiden valmistus ja kehittäminen on toistaiseksi keskittynyt pienehköille konepajoille ja tuotekehitystä ovat tehneet myös koneilla työskentelevät yrittäjät. Teknologisen kehityksen ohella jatkossa tarvitaan koneiden valmistukseen ja markkinointiin keskittyvän liiketoiminnan kokonaisvaltaista kehittämistä sekä uusien ideoiden kaupallistamista. Laitteiden kehittämisessä on huomioitava myös vientimarkkinat. Metsänhoitolaitteita valmistaville pienyrityksille voisi tarjoutua keino laajentua kansainvälisille markkinoille erilaisten vientiä ja vientiyhteistyötä tukevien toimintamallien kuten vientirenkaan kautta. (Strandström ym. (2011)

#### **8.4 Metsäkoneenkuljettajat**

Rummukaisen ym. (2004) mukaan työympäristö, olosuhteet ja toiminnan kohde vaihtelevat metsässä jatkuvasti. Koneellisessa hakkuussa tai taimikonhoidossa kuljettajan on tehtävä päätöksiä nopeasti ja usein vajavaiseen tietoon perustuen. Korkea automaatio-  
taso on vähentänyt kuljettajan kuormitusta, mutta samalla kuljettajan tehtävät ja vastuut ovat lisääntyneet. Työn tuottavuudessa ja laadussa, esimerkiksi jäävien puiden vaurioitumisessa, on suuria eroja eri kuljettajien välillä. Koneet ovat tehostuneet niin vauhdikkaasti, ettei kuljettaja voi enää esimerkiksi hallita kuormaimen liikkeitä maksiminopeuksilla. Kuljettajan henkilökohtaiset inhimilliset voimavarat ja työskentelyinformaation käsittelykapasiteetti ovat jo maksimissaan. On havaittu, että toiminnan suunnittelun,

ennakoinnin ja tilannekohtaisen mukautumiskyvyn merkitys on suurempi kuin on kuviteltu. (Rummukainen ym. 2004)

Tärkeä jatkotutkimuksen aihe olisi tutkia metsäkoneenkuljettajien kokemuksia koneellisesta taimikonhoidosta ja sen kehittämistarpeita heidän kannaltaan. Tutkimuksessa mukana olleet kuljettajat pitivät tiheän ja varttuneen taimikon koneellista perkausta erittäin raskaana työnä, jota ei kauan jaksanut yhtäjaksoisesti tehdä, ja välillä pitäisi myös voida tehdä jotain muuta työtä. Mikäli kuljettajat ovat yleisesti tätä mieltä, olisi erittäin tärkeää kehittää menetelmiä kuljettajan kannalta kevyemmiksi ja sujuvammiksi, jotta alalle löytyisi työntekijöitä jatkossakin. Taimikonhoitotyössä olisi erityisen tärkeää, että kuljettajan työtä voisi keventää esimerkiksi työtehtäviä vaihtelemalla.

Strandström ym. (2011) toteavat, että taimikonhoito on koneenkuljettajille raskasta, jatkuvaa tarkkuutta vaativaa työtä huonon näkyvyyden olosuhteissa ja sen automatisointi luultavasti lisäisi työn tuottavuutta sekä suoraan että välillisesti.

## **8.5 Metsänomistajat**

Metsänomistajan kannalta taimikonhoito koettaneen pakolliseksi ja kalliiksi lisätyöksi, joka helposti viivästyy tai voi jopa jäädä kokonaan tekemättä. Metsänhoito on helppo mieltää pelkäksi kustannuseräksi, koska sen tuottovaikutus näkyy vasta kaukana tulevaisuudessa. Ensimmäisistä harvennushakkuista ei vielä saada merkittävästi tuottoa, ja harva metsänomistaja näkee enää metsikkönsä toista päätehakkuuta. Kuitenkin hyvin järjestetty taimikonhoito on välttämätöntä teollisuuden puunhuollon turvaamiseksi. Metsänomistajien neuvontapalveluiden, metsäsuunnittelupalveluiden ja tukipolitiikan kehittäminen taimikonhoidollisten toimenpiteiden osalta on oleellisessa asemassa tulevaisuuden taimikonhoidon oikea-aikaisessa ja onnistuneessa toteutumisessa.

On tärkeää, että metsänomistajat saadaan vakuuttumaan taimikonhoidon tarpeellisuudesta. Hyvösen ym. (2010) selvitysten mukaan osa metsänomistajista kaipaavien toimenpiteiden tarkempaa ajoittamista sekä niiden toteutuksen suunnittelua. Tällaisen suunnittelu- ja toteutus -palvelukonseptin tarjoajalle yhtenä edellytyksenä ovat luotettavat tiedot metsälöistä sekä tarvittaessa maastossa tapahtuva arviointi, mikä edellyttää jatkuvapäivitteistä metsäsuunnitelmaa.

Harstelan (2006) mielestä taimikonhoidossa käytettävien tukien jakoperusteiden muuttaminen oikea-aikaista taimikonhoitoa kannustavaksi alentaisi kustannuksia, jolloin sama tukitaso riittäisi suurempaan taimikonhoitopinta-alaan. Harstelan (2006) mukaan taimikonhoidossa on määrän lisäksi kiinnitettävä huomiota laatuun, ja laatuajattelun mukainen tavoite olisi myöntää tukea vasta kun taimikko on saatettu riittävän hyvään kuntoon tiettyyn kehitysvaiheeseen mennessä. Harstela (2006) arvelee, että nykyistä pienemmälläkin tukitasolla voitaisiin saavuttaa ainakin herätevaikutus, mutta luultavasti myös määrävaikutus.

Strandströmin ym. (2011) mukaan taloudellisten syiden ohella metsänhoitotöiden koneellistumista ovat hidastaneet metsäammattilaisten ja metsänomistajien negatiiviset ennakkoasenteet. Koneellistamisen positiiviset vaikutukset, esimerkiksi työn tehostuminen, monipuolistuminen ja helpottuminen ovat jääneet keskustelussa taka-alalle. Positiivisten asioiden esiintuominen voisi houkutella uusia työntekijöitä työvoimapulan uhkaamalle alalle. Suhtautuminen metsänhoitotöiden koneellistumiseen on kuitenkin muuttunut viime vuosina positiivisemmaksi ja on nykyään pääosin myönteistä. (Strandströmin ym. 2011)

## **8.6 Taimikonhoitoketjun lyhentäminen**

Tässä tutkimuksessa tutkittiin koneellista taimikonhoitoa eli taimikon perkausta ja harvennusta varttuneessa taimikossa. Suurimassa osassa tutkituista taimikoista oli tehty varhaisperkaus, joka oli toteutettu metsurin raivaussahalla tekemänä reikäperkauksena. Vaikutelmani mukaan uutta vesakkoa oli syntynyt hyvin runsaasti reikäperatun vesakon kannoista. Tästä syystä varhaisperkauksen korvaaminen kitkennällä kuulostaa mielenkiintoiselta vaihtoehdolta.

Eräs kiinnostava tutkimusaihe olisi mahdollisuus jättää varsinainen taimikonhoito kokonaan tekemättä kitkevällä perkauslaitteella tehdyn varhaisen taimikonhoidon jälkeen. Tällaista toimintatapaa taimikoiden varhaishoidon ja myöhemmin tapahtuvan energia-puun korjuun yhdistelmänä ovat ennakoineet jo Heikkilä ja Sirén (2006).

Leskisen (2009) mukaan metsäammattilaiset ovat nimenneet nuoren metsän hoitorästin syiksi metsänomistajien kiinnostuksen puutteen sekä kuitupuun liian alhaisesta hin-

nasta johtuvan ensiharvennusten huonon kannattavuuden. Pieniläpimittaisen puun energiakäyttö voisi parantaa ensiharvennusten kannattavuutta, aktivoida metsänomistajia ja edistää kuitupuun kysyntää. Metsänhoidon tavoitteena voisi olla ainespuutuotoksen maksimoinnin rinnalla myös energiapuun kasvattaminen. (Leskinen 2009)

Monitoimikoneeseen kiinnitettävä Naarva-perkauslaite kitkee taimikoiden lehtipuuston juurineen. Laite toimii parhaiten kivennäismailla kasvavissa noin viiden vuoden ikäisissä kuusitaimikoissa (Lujanen 2011). Jatkotutkimuksilla olisi hyvä selvittää taimikon kehitystä kasvupaikaltaan ja puustoltaan erilaisissa kohteissa kitkemällä tehdyn varhaisperkauksen jälkeen. On houkutteleva vaihtoehto, jos yksi metsänkasvatusketjun kallis ja työläs osa – varsinainen taimikonhoito – voidaan kitkemällä tehdyn varhaisperkauksen jälkeen jättää kokonaan väliin ja tehdä taimikossa seuraavaksi energiapuuhakkuu tai ensiharvennus.

## 9 Lähteet

Andersson, S-O. 1969. Row and strip thinning. Thinning and mechanization. IUFRO Meeting. September 1969. Stockholm. s. 98–107.

Bucht, S. 1978. Effekten av schematiska gallringar på beståndsutvecklingen i tallskog. Skogshögskolan, institutionen för skogsskötsel. Moniste.

Bucht, S. 1981. Effekten av några olika gallringsmönster på beståndsutvecklingen i tallskog. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skogsskötsel. Rapporter 4. 276 s.

Bucht, S. & Elfving, B. 1977. Gallringsreaktion och tillväxt i ett korridorgallrat bestånd. Summary: Thinning response and increment in a strip-thinned stand. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 4: 323–345.

Eriksson, H. 1982. Stickvägsbreddens inverkan på tillväxten i unga granbestånd – några nya resultat från ett sameuropeiskt forskningsprojekt. Summary: The effect of the extraction rack on the increment of young Norway spruce stand – some new results from a common European research project. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 6: 47–56.

Eriksson, H. 1987. New results from plot no. 5 at Sperlingsholm estate in Southwestern Sweden in the European stemnumber experiment in *Picea abies*. Scandinavian Journal of Forest Research 2: 85–98.

Fries, J. 1976. Körskador och produktionsförluster. Skogshögskolan, Institutionen för skogsproduktion. Rapporter och uppsatser 40. 64 s.

Harstela 2006. Kustannustehokas metsänhoito. Gravita Ky. 2. korjattu ja täydennetty painos. 128 s.

Heikkilä, J. & Sirén, M. 2006. Energiapuuharvennus kannattaa osassa nuoria kasvatusmetsiä. Työtehoseuran metsätiedote 695. 4 s.

Heikkinen, O. 2009. Kitkevän reikäperkauksen vaikutus lehtipuiden kantovesomisen määrään. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu, metsätalouden koulutusohjelma. Opinnäytetyö. 28 s.

Huuskonen, S. 2008. [Verkkojulkaisu]. Nuorten männiköiden kehitys – taimikonhoito ja ensiharvennus. Dissertationes Forestales 62. 61 s. [Viitattu 5.9.2011]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/dissertationes/df62.htm>

Huuskonen, S., Hynynen, J. & Ojansuu, R. 2008. Stand characteristics and external quality of young Scots pine stands in Finland. Silva Fennica 42 (3): 397–412.

Huuskonen, S. & Hynynen, J. 2006. Taimikonhoidon ajoituksen ja voimakkuuden vaikutus männiköiden ensiharvennukseen. Seloste artikkelista: Huuskonen, S. & Hynynen, J. 2006. Timing and intensity of precommercial thinning and their effects

on the first commercial thinning in Scots pine stands. *Silva Fennica* 40 (4): 645–662.

Hyvän metsänhoidon suositukset. 2006. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, Helsinki. 95 s.

Hyvönen, P., Malinen, J., Rämö, A-K., Nuutinen, T. & Järvinen, E. 2010. Vastaavatko suunnittelupalvelut puukaupan haasteisiin? *Metsätieteen aikakauskirja* 4: 504–509.

Immonen, K. 2003. Avauspuheenvuoro: Taimikonhoidon tilanne ja kehittämistarpeet. Julkaisussa: Kariniemi, A. (toim.). *Kehittyvä puuhuolto 2003. Seminaarijulkaisu. Metsäteho Oy. Helsinki.* s. 44–47.

Isomäki, A. 1986. Linjakäytävän vaikutus reunapuiden kehitykseen. Summary: Effects of line corridors on the development of edge trees. *Folia Forestalia* 678. 30 s.

Isomäki, A. 1994. Ajouran leveyden määrittäminen. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 501. 66 s.

Isomäki, A. & Niemistö, P. 1990. Ajourien vaikutus puuston kasvuun Etelä-Suomen nuorissa kuusikoissa. *Folia Forestalia* 756. METLA. 36 s.

Kaila, S., Kiljunen, N., Miettinen, A. & Valkonen, S. 2006. Effect of timing of precommercial thinning on the consumption of working time in *Picea abies* stands in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21: 496–504.

Korhonen, K., Ihalainen, A., Miina, J., Saksa, T. & Viiri, H. 2010. Metsänuudistamisen tila Suomessa VMI10:n aineistojen perusteella. *Metsätieteen aikakauskirja* 4: 425–478.

Kukkonen, Mikael. 2011. Varhaisperkauksen onnistumisen arviointi ja tulevan perkaustarpeen ennustaminen koneellisesti kitketyissä kuusen (*Picea abies*) taimikoissa. Itä-Suomen yliopisto, luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta, metsätieteiden osasto, metsätieteen pro gradu -tutkielma, metsänhoidon ja metsäbioenergian erikoistumisala. 57 s.

Leskinen, L. A. 2009. Metsäammattilaisten tulkinnot puunkasvatuksen tavoitteista energiapuun korjuun lisääntyessä. *Metsätieteen aikakauskirja* 3: 199–212

Lujanen, A. 2011. [Verkkoartikkeli]. Kitkevä perkauskone hoitaa taimikoita. YLE Pohjois-Karjala. Julkaistu 9.8.2011. [Viitattu 3.9.2011]. Saatavissa: [http://www.yle.fi/alueet/pohjois-karjala/2011/08/kitkeva\\_perkauskone\\_hoitaa\\_taimikoita\\_2778459.html](http://www.yle.fi/alueet/pohjois-karjala/2011/08/kitkeva_perkauskone_hoitaa_taimikoita_2778459.html)

Melkas, T. & Visala, A. 2009. Hakkuukoneella kerätyn mittaustiedon hyödyntäminen. *Metsätieteen aikakauskirja* 4: 375–381.

MenSe RP40, 80 ja 80L -raivauspäät. Tekniset tiedot. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 5.9.2011]. Saatavissa: [http://www.mense.fi/userData/mense-oy/esitteet/suomi/RP40-80-80L\\_suomi.pdf](http://www.mense.fi/userData/mense-oy/esitteet/suomi/RP40-80-80L_suomi.pdf)

MenSe RP80 -raivauspää. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 5.9.2011]. Saatavissa: <http://www.mense.fi/userData/mense-oy/esitteet/suomi/Mense-raivauspA-A-esite.pdf>

MenSe yleisesite. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 5.9.2011]. Saatavissa: [http://www.mense.fi/userData/mense-oy/esitteet/suomi/Yleisesite\\_12-2010.pdf](http://www.mense.fi/userData/mense-oy/esitteet/suomi/Yleisesite_12-2010.pdf)

MenSe-raivauspäiden RP40, RP80 ja RP80L tekniset tiedot. [Verkkojulkaisu]. [http://www.mense.fi/userData/mense-oy/esitteet/suomi/RP40-80-80L\\_suomi.pdf](http://www.mense.fi/userData/mense-oy/esitteet/suomi/RP40-80-80L_suomi.pdf) [Viitattu 5.9.2011].

MenSe-raivauspää, tekninen esitys. 2008. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 5.9.2011]. Saatavissa: <http://www.mense.fi/userData/mense-oy/esitykset/suomi/MenseRaivauspA-A-TekninenEsitys2008.ppt>

Metsätehon opas. 2003. Korjuujälki harvennushakkuussa. 32s.

Niemistö, P. 1992. Runkolukuun perustuvat harvennusmallit. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 432. 18 s.

Nuortimo, P. 2008. Kitkentään tarvittava voima koneellisessa varhaisperkauksessa. Tampereen ammattikorkeakoulu, metsätalouden koulutusohjelma. Opinnäytetyö. 21 s.

Rantala, J. & Kautto, K. 2011. [Verkkojulkaisu]. Koneellinen kitkentä taimikon varhaisperkauksessa – työajanmenekki, kustannukset ja työjäljen laatu. Metsätieteen aikakauskirja 1/2011: 3–12. [Viitattu 5.9.2011]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff11/ff111003.pdf>

Rummukainen, A., Heikkilä, J., Aarnio, J., Ala-Ilomäki, J., Asikainen, A., Mäkinen, P., Sikanen, L., Tahvanainen, T. & Väättäin, K. 2004. Puunhankinnan tutkimusaiheita pitkälle tulevaisuuteen. Metsätieteen aikakauskirja 3: 316–317.

Saksa, T. & Miina, J. 2010. [Verkkojulkaisu]. Perkaustavan ja -ajankohdan vaikutus männyn stutustaimikon kehitykseen Etelä-Suomessa. Metsätieteen aikakauskirja 2/2010: 115–127. [Viitattu 5.9.2011]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff10/ff102115.pdf>

Sirén, M. 2008. Hakkuukonetyö, sen korjuujälki ja puustovaurioiden ennustaminen. 2008. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 694. 179 s.

Strandström, M. Tuloksia MenSe-raivauspään seuranta tutkimuksesta. 2010. Metsätehon tulostalvosarja 6. 18 s. [Viitattu 5.9.2011]. Saatavissa: [http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tulostalvosarja/Tulostalvosarja\\_2010\\_06\\_Tuloksia\\_MenSe-raivauspaan\\_seuranta tutkimuksesta\\_ms.pdf](http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tulostalvosarja/Tulostalvosarja_2010_06_Tuloksia_MenSe-raivauspaan_seuranta tutkimuksesta_ms.pdf)

Strandström, M., Hämäläinen, J. & Pajuoja, H. 2009. [Verkkojulkaisu]. Metsänhoidon koneellistaminen. Visio ja T&K-ohjelma. Metsätehon raportti 206. 47 s. Julkaistu 23.6.2009. [Viitattu 15.9.2011]. Saatavissa: <http://www.metsateho.fi/metsatehon-raportti?year=2009>

Strandström, M., Saarinen, V-M., Hallongren H., Hämäläinen, J., Poikela, A. & Rantala, J. 2011. [Verkkojulkaisu]. Koneellisen istutuksen ja taimikonhoidon kilpailukyky. Metsätehon raportti 218. 36 s. Julkaistu 18.8.2011. [Viitattu 5.9.2011]. Saatavissa: <http://www.metsateho.fi/metsatehon-raportti>

Taimikonhoidon perusteet. [Verkkojulkaisu]. MHY Kalajokilaakso. [Viitattu 5.9.2011]. Saatavissa: [http://www.mhy.fi/kalajokilaakso/taimestatukkipuuksi/fi\\_FI/taimestatukkipuuksiprojekti/\\_files/84150246659421088/default/Taimikonhoidon%20perusteet.pdf](http://www.mhy.fi/kalajokilaakso/taimestatukkipuuksi/fi_FI/taimestatukkipuuksiprojekti/_files/84150246659421088/default/Taimikonhoidon%20perusteet.pdf)

Tanttu, V. & Mutikainen A. 2010. [Verkkojulkaisu]. Taimikon varhaishoidon koneellistamisvaihtoehdot. TTS. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 18 s. Julkaistu 10.12.2010. [Viitattu 3.9.2011]. Saatavissa: [http://www.tapio.fi/files/tapio/Aineistopankki/Taimikon%20\\_varhaishoidon\\_koneellistamisvaihtoehdot.pdf](http://www.tapio.fi/files/tapio/Aineistopankki/Taimikon%20_varhaishoidon_koneellistamisvaihtoehdot.pdf)

Tørå, G.D. 1978. Skadefrekvensen efter tynning i granskog. Föredrag vid konferensen: Gallringens biologi och teknik. Garpenberg maj 1978. Moniste.

Valtakunnan metsien 11. inventointi (VMI11). 2009. [Verkkojulkaisu]. Maastotyöohje. Metsäntutkimuslaitos. 122 s. [Viitattu 3.9.2011]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/ohjelma/vmi/vmi11-maasto-ohje09-2p.pdf>

Ylimartimo, M. & Heikkilä, J. 2003. Taimikonhoitotöiden koneellistamiskelpoisuus. Metsätieteen aikakauskirja 4: 429–437.



## 10 Liitteet

### LIITE 1. Maastotietolomake, puustotiedot.

MENSE SEURANTATUTKIMUS - PUUSTOTIEDOT

LOMAKE 1

Mittauspäämäärä: \_\_\_\_\_

Palstan nro: \_\_\_\_\_ Palstan nimi: \_\_\_\_\_

Yrittäjä: \_\_\_\_\_ Kuvion nro: \_\_\_\_\_

Pääpuulaji: Mänty / Kuusi / Koivu

JÄÄVÄ PUUSTO

Kasvatuskelpoiset

Kasvatuskelvottomat

Koeala n:o	Mänty			Kuusi			Koivu			Runkovaurio		Poistettu Kasv.kelp. kpl/koeala	Vakava vaurio	
	Puita / koeala	Keski- läpimitta, cm	Keski- pituus, dm	Puita / koeala	Keski- läpimitta, cm	Keski- pituus, dm	Puita / koeala	Keski- läpimitta, cm	Keski- pituus, dm	Raivain kpl/koeala	Kone kpl/koeala		Raivain kpl/koeala	Kone kpl/koeala
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														

Koealasäde 3,99 m, kerroin = 200

### LIITE 2. Maastotietolomake, poistumatiedot.

MENSE SEURANTATUTKIMUS - POISTUMATIEDOT

LOMAKE 2

Palstan nro: \_\_\_\_\_ Palstan nimi: \_\_\_\_\_

Kuvion nro: \_\_\_\_\_

POISTETTU PUUSTO

Koealan n:o

POISTETTAVA

Koeala	Puita / koeala	Kantoläpimitta, mm					Puita / koeala	Poistuma- tyyppi	Maasto- luokka	Koealan etäisyys- ajouraan, m
		1	2	3	4	5				
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										

Koealasäde 2,52 m, kerroin = 500

Poistumatyyppi (1=mänty, 2=havu-lehtisekapuu, 3=kuusi)  
Maastoluokka (1, 2, 3)

### LIITE 3. Maastotietolomake, ajourat.

MENSE SEURANTATUTKIMUS - AJOURAT

LOMAKE 3

Mittauspäivämäärä: \_\_\_\_\_

Palstan nro: \_\_\_\_\_

Palstan nimi: \_\_\_\_\_

Yrittäjä: \_\_\_\_\_

Kuvion nro: \_\_\_\_\_

AJOURAN LEVEYS

Koepuu n:o

Koetala	Lähin puu, m		1	2	3	4	5	6	7	8
	Vasempuoli	Oikeapuoli								
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										

AJOURAVÄLI

Ajoura- väli, m



**LIITE 4. Kuvia koealoilta.**



**Kuva 35. Koealan keskipaalu ja mittakeppi**



**Kuva 36. Marraskuussa mitattu koeala.**



**Kuva 37. Runkovaurioita männyissä.**



**Kuva 38. Kasvatettavien puiden joukossa useita poistamatta jääneitä puita.**



**Kuva 39. Raivaimen aiheuttama vaurio männyssä.**



**Kuva 40. Koneen aiheuttama vaurio männyssä.**

**LIITE 5. Taulukko: Ajouraleveydet ja -välit**

Ajouraleveys mitattuna Buchtin ja NISKin menetelmillä sekä uraväli maastossa ja kartalta mitattuna ja eriteltynä työmaakohtaisesti, kuljettajakohtaisesti sekä molemmille koneyksiköille.

Työmaa	Ajouraleveys, m		Puuntuot. uralev. m	Uraväli, m	
	Bucht	Nisk		Maasto	Kartta
Kuljettaja 1, koneyksikkö 1					
1	2,6	3,2	0,9	19,4	16,5
2	2,8	3,3	0,9	14,8	16,5
3	3,1	3,3	1,2	15,2	15,8
4	2,8	3,4	1,4	13,1	14,5
5	2,8	3,6	1,8	19,3	16,5
Kuljettaja 2, koneyksikkö 2					
6	3,4	4,3	2,1	16,1	
7	3,3	4,2	2,3	16,0	
Kuljettaja 3, koneyksikkö 2					
8	3,4	4,3	1,7	16,5	17,7
9	3,1	3,9	2,1	17,7	17,7
10	3,5	4,2	2,0	17,9	
11	3,3	4,1	2,1	16,8	17,2
12	3,2	3,9	1,9	18,4	17,8
13	3,1	3,9	1,6	17,0	
14	3,2	3,9	1,8	16,4	
15	3,2	3,8	1,8	17,2	
16	3,2	3,7	1,7	19,1	18,8
17	3,3	3,8	1,4	20,5	22,0
18	3,5	3,8	1,6	19,3	15,9
19	3,2	3,7	1,6	19,0	19,3
Kuljettaja 1, ka.	2,8	3,4	1,2	16,4	15,9
Kuljettaja 2, ka.	3,3	4,3	2,2	16,0	
Kuljettaja 3, ka.	3,3	3,9	1,8	18,0	18,3
Koneyksikkö 1, ka.	2,8	3,4	1,2	16,4	15,9
Koneyksikkö 2, ka.	3,3	4,0	1,8	17,7	18,3
Kaikki, ka.	3,2	3,8	1,7	17,4	17,4

## LIITE 6. Taulukko: Puustovauriot.

Puustovauriot työmaittain ja koneyksiköittäin.

Työmaa	Kasvatettavat Kpl/ha	Lievät v., kpl/ha Raivain	Kone	Vakavat v., kpl/ha Raivain	Kone	Vakavat ja lievät vauriot yht., kpl/ha					Vaurioprosentti (%)			Turhaan.poist. Kpl/ha	Poistettavat Kpl/ha
	Yht.	Lievät v.		Vakavat v.		Yht.	Lievät v.	Vakavat v.	Raivain	Kone	Yht.	Raivain	Kone		
Kuljettaja 1, koneyksikkö 1															
1	1 879	27	13	13	27	80	40	40	40	40	2	50	50	13	267
2	1 706	0	13	27	0	40	13	27	27	13	1	67	33	13	100
3	2 213	40	67	27	0	133	107	27	67	67	5	50	50	93	200
4	2 346	27	53	27	13	120	80	40	53	67	3	44	56	213	434
5	2 826	80	13	0	27	120	93	27	80	40	3	67	33	53	401
Kuljettaja 2, koneyksikkö 2															
6	1 959	293	0	0	53	347	293	53	293	53	15	85	15	120	501
7	2 639	200	20	0	0	220	220	0	200	20	8	91	9	60	902
Kuljettaja 3, koneyksikkö 2															
8	1 493	53	53	13	27	147	107	40	67	80	7	45	55	93	267
9	3 066	253	27	0	13	293	280	13	253	40	9	86	14	53	334
10	2 099	280	20	0	60	360	300	60	280	80	14	78	22	260	150
11	2 559	107	0	0	13	120	107	13	107	13	4	89	11	93	301
12	2 546	53	0	13	13	80	53	27	67	13	2	83	17	107	100
13	1 919	93	53	0	53	200	147	53	93	107	8	47	53	120	134
14	2 253	53	13	13	40	120	67	53	67	53	3	56	44	107	167
15	2 293	133	27	0	13	173	160	13	133	40	7	77	23	173	100
16	2 359	53	13	0	67	133	67	67	53	80	3	40	60	67	200
17	1 866	80	0	0	13	93	80	13	80	13	4	86	14	0	33
18	2 066	53	0	13	0	67	53	13	67	0	3	100	0	0	100
19	2 253	53	0	27	13	93	53	40	80	13	2	86	14	13	33
Kuljettaja 1, ka.	2 194	35	32	19	13	99	67	32	53	45	3	54	46	77	281
Kuljettaja 2, ka.	2 299	247	10	0	27	283	257	27	247	37	12	87	13	90	702
Kuljettaja 3, ka.	2 231	106	17	7	27	157	123	34	112	44	6	72	28	91	160
Koneyksikkö 1, ka.	2 194	35	32	19	13	99	67	32	53	45	3	54	46	77	281
Koneyksikkö 2, ka.	2 241	126	16	6	27	175	142	33	131	43	6	75	25	90	237
Kaikki, ka.	2 228	102	20	9	24	155	122	33	111	44	5	72	28	87	249

## LIITE 7. Tilastollisia tunnuslukuja

STATISTICS DESCRIPTIVES		N	Mean	95% Confidence Interval for Mean		5% Trimmed Mean	Median	Variance	Std. Deviation	Minimum	Maximum
Uraleveys Bucht, m	Statistic	164	3,15	Lower Bound	Upper Bound	3,14	3,14	0,128	0,358	2,25	4,39
	Std. Error		0,03	3,09	3,20						
Uraleveys Nisk, m	Statistic	164	3,78	Lower Bound	Upper Bound	3,77	3,79	0,157	0,396	2,77	4,79
	Std. Error		0,03	3,71	3,84						
Uraväli, maasto, m	Statistic	109	17,32	Lower Bound	Upper Bound	17,29	17,30	10,818	3,289	7,70	25,30
	Std. Error		0,32	16,69	17,94						
Uraväli kartta, m	Statistic	172	17,15	Lower Bound	Upper Bound	16,97	17,00	14,090	3,754	9,00	32,00
	Std. Error		0,29	16,58	17,71						
Runkovaurio%	Statistic	275	5,43	Lower Bound	Upper Bound	4,41	0,00	67,595	8,222	0,00	60,00
	Std. Error		0,50	4,45	6,40						
Jäävä puusto, kpl/ha	Statistic	275	2223,36	Lower Bound	Upper Bound	2210,27	2199,36	447192,237	668,724	599,83	3998,84
	Std. Error		40,33	2143,97	2302,74						
Poistettu turhaan, kpl/ha	Statistic	275	84,34	Lower Bound	Upper Bound	57,76	0,00	31086,982	176,315	0,00	1200,00
	Std. Error		10,63	63,41	105,27						
Poistettavat, kpl/ha	Statistic	275	238,77	Lower Bound	Upper Bound	175,18	0,00	196774,985	443,593	0,00	3007,00
	Std. Error		26,75	186,11	291,44						
Et. Ajouraan, m	Statistic	275	5,82	Lower Bound	Upper Bound	5,64	5,52	9,008	3,001	0,60	39,50
	Std. Error		0,18	5,47	6,18						